

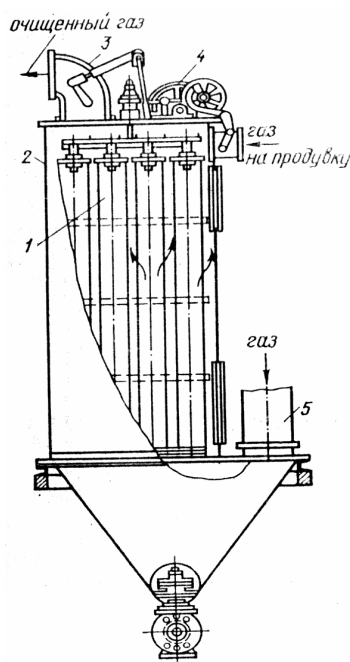
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

В. В. Гранкина

Очистка вентиляционных выбросов

(Конспект лекций для студентов 2-5 курсов всех форм обучения по направлению подготовки 0921 (6.060101) «Строительство» и слушателей второго высшего образования специальности 7.092108 (7.06010107) «Теплогазоснабжение и вентиляция»)



ХАРЬКОВ – ХНАГХ – 2008

Гранкина В. В. Конспект лекций по дисциплине «Очистка вентиляционных выбросов» (для студентов 2-5 курсов всех форм обучения по направлению подготовки 0921 (6.060101) «Строительство» и слушателей второго высшего образования специальности 7.092108 (7.06010107) «Теплогазоснабжение и вентиляция») / В. В. Гранкина; Харьк. нац. акад. город. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2008. – 100 с.

Автор: к.т.н., доц. В. В. Гранкина

Рецензент: к.т.н., доц. Л. В. Гапонова

Рекомендовано кафедрой «Эксплуатации газовых и тепловых систем»,
протокол № 12 от 28.12.2008 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
СМ 1. 1. Аэрозольные, пылевые, газоподобные загрязнители.....	6
1.1. Характеристика загрязнителей и их классификация.....	6
1.2. Источники образования пыли.....	9
1.3. Нормирование запыленности газа.....	10
1.4. Расчет выбросов загрязняющих веществ (от котлов тепловых электростанций).....	11
1.5. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/час.....	15
СМ 2. 2. Пылеосадочные камеры и аппараты сухой инерционной очистки газов.....	19
2.1. Общие положения.....	19
2.2. Пылеосадочные камеры.....	19
2.3. Жалюзийные пыле- и золоуловители.....	22
2.4. Циклоны.....	24
2.5. Расчет циклона.....	31
2.6. Батарейный циклон.....	34
2.7. Пылеуловители	36
2.8. Дымососы-золоуловители.....	38
СМ 3. 3. Фильтры.....	41
3.1. Основные положения.....	41
3.2. Мокрые фильтры, туманоуловители.....	44
3.3. Воздушные фильтры.....	48
3.4. Тканевые фильтры.....	57
3.5. Рукавный фильтр (тканевый).....	61
3.6. Зернистые фильтры.....	62
3.7. Электрофильтры.....	66
3.8. Расчет фильтров.....	71

СМ 4. 4. Аппараты мокрой очистки газа.....	75
4.1. Общие сведения.....	75
4.2. Полые газопромыватели.....	75
4.3. Насадочные газопромыватели.....	78
4.4. Барботажные и пенные газоочистительные аппараты.....	79
4.5. Мокрые газоочистительные аппараты ударно-иннерционного действия.....	80
4.6. Мокрые аппараты центробежного действия.....	82
4.7. Динамические газопромыватели.....	83
4.8. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури).....	84
4.9. Адсорбционные аппараты.....	85
Приложение.....	94
Список литературы.....	99

Введение

В настоящее время на Украине большое внимание уделяется вопросам охране труда, промышленной санитарии и технике безопасности на производстве, улучшению санитарно-гигиенического состояния населенных мест, экологическому состоянию окружающей среды.

Поэтому очень важным в информационном плане является обеспечение информацией о новом оборудовании для очистки вентиляционных выбросов и газоочистки с целью повышения эффективности очистки.

Отечественная и зарубежная промышленность располагает значительными техническими средствами для эффективной борьбы с запыленностью производственных помещений и атмосферного воздуха.

Рациональный выбор очистки газов в каждом конкретном случае возможен только при достаточном изучении специалистами техники газоочистки и их конструкций, технико-экономических характеристик оборудования.

Улавливание пыли с помощью пылеуловителей является не единственный способ борьбы с пылью. Во многих случаях выделение пыли в воздух можно предотвратить путем рациональной организации технологического процесса.

Таким образом, для решения проблемы очистки вентиляционных выбросов и газоочистки, необходимо применить комплексный подход, который будет основываться на рациональной организации технологического процесса очистки с применением современного оборудования.

Содержательный модуль 1

1. Аэрозольные, пылевые, газоподобные загрязнители

1.1. Характеристика загрязнителей и их классификация

Надежность и эффективность работы систем газоочистки в значительной мере зависит от физико-химических свойств золы или пыли, от основных параметров газовых потоков, которые должны быть хорошо изучены и учтены при проектировании систем газоочистки, организации их эксплуатации.

Рассмотрим основные понятия и определения, которые являются необходимыми для определения физико-химических свойств пыли или золы.

Пыль – это мельчайшие частицы твердого или жидкого вещества, рассеянные в воздухе. Мельчайшие частицы твердого или жидкого вещества рассеянные в воздухе также называют – *дисперсной системой*. При этом воздух или газ называют *дисперсной средой*, а взвешенные частицы – *дисперсной фазой или аэрозолем*. Частицы, выпавшие из воздуха называют - *эрогелями*.

Размеры частиц дисперсной фазы выражаются в микрометрах (микронах) и обозначаются - мкм.

Дисперсный состав пыли характеризуется содержанием частиц различных фракций.

Фракция – это доля частиц, размеры которых находится в определенном интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов. Пыль размером до 50 мкм разделяют по фракциям следующим образом:

Номер фракций	1	2	3	4	5	6	7
Размер частиц	>0-5	>5-10	>10-15	>15-20	>20-30	>30-40	>40-50

Частицу произвольной формы принято условно считать шарообразной, а размер ее определяют по эквивалентному диаметру.

Аэрозоли, содержащие мельчайшие частицы жидкости, называют *туманами*. Аэрозоли, содержащие мельчайшие твердые частицы называют *дымом*.

Пыль относят к грубодисперсным аэрозолям.

В настоящее время для установления состава пыли используют *дисперсный анализ*, который может быть четырех типов:

1. Индивидуальное изучение пыли - микроскопический и ультрамикроскопический анализ.

2. Механическое разделение частиц (способ основан на принципе механической сортировки частиц данной пробы по их крупности с помощью сит и фильтров, имеющих отверстия определенной величины, и применяется для определения содержания пыли более 50-60 мкм).

3. Седиментация – способ основан на принципе различной скорости падения частиц крупностью от 1 до 100 мкм в спокойном состоянии, обычно жидкой среде.

4. Динамический способ, основанный на принципе различных скоростей падения (витания) частиц размерами от 2 до 10 мкм.

Постоянные выбросы классифицируют:

1) по потреблению чистого воздуха для разбавления вредных веществ по ПДКр:

$$L = \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_{\text{pi}}} \right);$$

2) по кратности разбавления загрязняющих веществ воздухом:

$$K_{\text{pc}} = \frac{D}{H + D} \sum_{i=1}^n \left(\frac{c_{0i}}{\text{ПДК}_{\text{pi}}} \right);$$

где n - число загрязняющих веществ, обладающих суммацией действия, поступающих в атмосферу от данного источника; M_i – расход i -го вредного вещества, мг/с; ПДК_{pi} – предельно допустимая максимальная разовая концентрация i -го вещества в атмосферном воздухе населенного пункта, мг/м³; H – высота источника (устья шахты) над уровнем земли, м;

D – диаметр (характерный размер) устья источника, м; c_0 – концентрация i -го вредного вещества в выбрасываемом воздухе, мг/м³.

Пыль классифицируют:

а) за происхождением: минеральная и органическая (растительного и животного происхождения);

б) за воздействием на человека: нейтральный, токсичный (ядовитые вещества), кремниевый, асбестовый (канцероген);

в) за дисперсностью:

- большой, более 50 мкм (легко задерживается верхними дыхательными путями);

- средней дисперсности от 50 до 10 мкм (глубоко проникает в дыхательные пути и частично в легкие);

- мелкодисперсный, меньше 10 мкм (глубоко проникает в легкие).

Наиболее тяжело улавливать фильтрами, он является наиболее опасным.

За классами опасности вредные пары и газы разделяют на:

I класс - чрезвычайно опасные;

II класс - сильно опасные;

III класс - умеренно опасные;

IV класс - мало опасные.

За характером действия условно делятся на:

1) удушающие (синильная кислота), которые действуют на органы дыхания;

2) раздражающие (хлор, аммиак), которые действуют на поверхность слизистой;

3) наркотические (ацетон, бензин), которые действуют на нервную систему;

4) отравляющие (окись углерода), которые действуют на организм в целом.

1.2. Источники образования пыли

Образование пыли может происходить:

1. В результате механического измельчения твердых тел (при дроблении, размалывании, перемешивании, истирании, пересыпке, транспортировке).
2. При горении топлива (зольный остаток).
3. При конденсации паров (например, при охлаждении газов, содержащих пары металлов или других веществ до температуры конденсации этих веществ).
4. При химическом взаимодействии двух газов с образованием твердого продукта.

Пыли, образующиеся в результате механического измельчения, обычно состоят из частиц диаметром от 5 до 50 мкм и более. Пыли образующие при конденсации паров и химическом взаимодействии газов состоят из частиц до 3 мкм. Пыли, образующиеся в результате горения, состоят в основном из частиц диаметром от 5- 70 мкм.

Мельчайшие частицы, которые входят в состав конденсированных систем, могут соединяться в более крупные хлопьевидные частицы – это явление называется коагуляцией.

Наблюдения за поведением взвешенных газах частиц показывают, что в большинстве случаев они обладают электрическим зарядом, образующимся в результате трения непосредственной адсорбции ионов газа или действия ионизирующих факторов (например, ультрафиолетовых лучей или радиоактивного излучения).

Величина и знак электрического заряда взвешенных частиц влияют на их поведение в среде.

Накопление электрических зарядов в слое пыли, уловленной на фильтрующей перегородке и являющейся плохим проводником электричества, может вызвать пробой и воспламенение фильтров и горючих смесей.

1.3. Нормирование запыленности газов

Допускаемое содержание пыли в промышленных газах определяется требованиями и условиями технологического процесса производства.

При определении допустимого содержания пыли в отходящих промышленных газах выбрасываемых в атмосферу необходимо учитывать следующие: выбрасываемая в атмосферный воздух с отходящими газами промышленная пыль загрязняет воздух и территорию населенных мест, вдыхание запыленного воздуха вызывает заболевание верхних дыхательных путей и легких, а при длительном воздействии пыли, содержащих кварц или асбест, возможны заболевания силикозом или асбестозом.

Известно, что в атмосфере частицы пыли размером до 5 мкм составляют 7% всей витающей в воздухе пыли, остальные 93% (по массе) приходятся на частицы размером более 5 мкм, которые задерживаются в верхних дыхательных путях. Но число частиц до 5 мкм составляют 94 % всего числа пылинок (наиболее опасные для организма).

Для обеспечения нормированных параметров воздуха в помещениях проектируют систему вентиляции.

Предельно допустимые концентрации вредных веществ в атмосферном воздухе населенных мест устанавливаются государственной санитарной инспекцией.

Поскольку абсолютно исключить попадание вредных паров и газов в воздух помещения невозможно, их содержимое в воздухе определяется допустимыми концентрациями (ПДК), которая выражаются в г/м^3 , мг/м^3 .

Величина ПДК зависит от вредности вещества. Для вредных веществ, которые действуют на человека однонаправлено, должно реализовываться условие:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i} \leq I,$$

где C_i - концентрация i -го компонента, г/м³; ПДК – предельно допустимая концентрация i -того компонента, г/м³; i - порядковый номер компонента; n – количество однонаправленных действующих компонентов, шт.

Действующими нормами запрещается использовать приточный воздух, в котором содержится больше 0,3 ПДК вредностей.

1.4. Расчет выбросов загрязняющих веществ (от котлов тепловых электростанций)

Методика предназначена для расчета выбросов вредных веществ от котлов тепловых электростанций (теплоэнергетические котлы).

Основными загрязняющими веществами для атмосферы от теплоэнергетических котлов являются:

1. Твердые частицы
2. Оксиды серы
3. Оксид углерода
4. Оксид ванадия
5. Оксиды азота

Используют следующую последовательность расчета вредных выбросов.

1. Для определения выбросов твердых частиц летучей золы и несгоревшего топлива используют следующую формулу

$$\Pi_{тв} = B \frac{A^r}{100 - \Gamma_{ун}} a_{ун} (1 - \eta),$$

где B – расход натурального топлива (т/год, г/с); A^r – зольность топлива (%); $a_{ун}$ – доля золы в уносе; η – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях (принимаются по результатам измерений не выше годичной давности); $\Gamma_{ун}$ – содержание горючего в уносе (%).

При отсутствии эксплуатационных данных о содержании горючего в уносе количество выбрасываемых твердых частиц рассчитывают по формуле

$$P_{me} = 0,01B(a_{yn}A^r + q_4^{yn} \frac{Q_n^r}{32680}) \cdot (1 - \eta),$$

где q_4^{yn} – потери теплоты с уносом от механической неполноты сгорания топлива (%). Для мазутных котлов q_4^{yn} может быть принято 0,02 %. Если отсутствуют эксплуатационные данные о q_4^{yn} при сжигании твердого топлива, то для приближенного расчета подставляют нормативное значение q_4^{yn} ; Q_n^r – низшая теплота сгорания топлива (кДж/кг).

2. Для определения выбросов серы в пересчете на SO₂ используют формулу

$$P_{so_2} = 0,02BS^r(1 - \eta'_{so_2}) \cdot (1 - \eta''_{so_2}),$$

где S^r – содержание серы в топливе (%); η'_{so_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой в котле; η''_{so_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловителе попутно с твердыми частицами.

Доля оксидов связываемых летучей золой в котле, зависит от зольности топлива и содержания свободной щелочи в летучей золе и приводится в справочной литературе.

Под низкотемпературным сжиганием понимают сжигание всех углей с $Q_n^p < 23050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела $T_\phi < 1500^\circ\text{C}$. Под высокотемпературным сжиганием понимается сжигание всех углей в топках с жидким шлакоудалением, а также углей с $Q_n^p > 23050$ кДж/кг в топках с твердым шлакоудалением при температуре факела $T_\phi < 1500^\circ\text{C}$.

Доля оксидов серы (η''_{so_2}), улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофильтрах, батарейных циклонах), принимается равной нулю. В мокрых золоуловителях она в основном от расхода и общей щелочности орошаемой воды и от приведенной сернистости топлива при принятых на тепловых электростанциях удельных расходах воды на орошение золоуловителей 0,1 - 0,15 л/м³ (по графикам).

3. Для определения оксида углерода в выбросах используют следующую формулу

$$P_{co} = 0,001C_{co}B(1 - \frac{q_4}{100}),$$

где C_{co} – выход оксида углерода при сжигании твердого, жидкого или газообразного топлива (кг/т, кг/тыс. м³) определяется по формуле

$$C_{co} = \frac{q_3 R Q_i^r}{1013},$$

где q_3, q_4 – потери теплоты соответственно от химической и механической неполноты сгорания топлива (%); R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной содержанием оксида углерода в продуктах сгорания. Для твердого топлива $R=1,0$, для газа $R=0,65$; Q_i^r – теплота сгорания натурального топлива (кДж/кг, кДж/м³).

Значения q_3, q_4 – принимаются по эксплуатационным данным или по нормам «Теплового расчета котельных агрегатов. Нормативный метод».

При сжигании газа и мазута с предельно малыми избытками воздуха ($\alpha=1,01\dots1,05$) следует принимать $q_3=0,15$ % согласно «Руководящим указаниям по переводу котлов, работающих на сернистых топливах, в режим сжигания с предельно малыми избытками воздуха»; при $\alpha \geq 1,05$ следует принимать $q_3=0$.

4. Расчет выбросов оксидов ванадия в пересчете на пентаксид (т/год, г/с), вычисляется по формуле

$$П_{V_2O_5} = 10^{-6} \cdot G_{V_2O_5} \cdot B \cdot (1 - \eta_{oc}) \cdot (1 - \eta_y),$$

где $G_{V_2O_5}$ – содержание оксидов ванадия в жидком топливе в пересчете на V_2O_5 (г/т); η_{oc} – коэффициент оседания оксидов ванадия на поверхности нагрева котлов. Для котлов с промежуточными пароперегревателями, очистка поверхностей нагрева которых производится в остановленном состоянии; $\eta_{oc}=0,07$; для котлов без промежуточных пароперегревателей при тех же условиях очистки $\eta_{oc}=0,05$, для остальных случаев $\eta_{oc}=0$; η_y – доля твердых частиц продуктов сгорания жидкого топлива, улавливаемых в устройствах для очистки газов мазутных котлов.

Значение η_y оценивается для средних условий работы улавливающих устройств за год.

При условии результатов анализа топлива содержание оксидов ванадия ($G_{V_2O_5}$) в мазуте с $S_r > 0,4$ % определяется ориентировочно по формуле

$$G_{V_2O_5} = 95,4S^r - 31,6,$$

где S^r - содержание серы в мазуте (%).

5. Расчет выбросов оксида азота в пересчете на NO_2 (т/год, г/с) вычисляется по формуле

$$P_{NO_2} = 0,34 \cdot 10^{-7} K \cdot B \cdot Q_n^r \cdot \left(1 - \frac{q_1}{100}\right) \cdot \beta_1 \cdot (1 - \varepsilon_1 r) \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_2,$$

где K – коэффициент, характеризующий выход оксидов азота (кг/т условного топлива); β_1 – коэффициент учитывающий влияние содержание азота в топливе на выход оксидов азота; β_2 – коэффициент, учитывающий конструкцию горелок (для вихревых горелок $\beta_2=1$, для прямоточных $\beta_2= 0,85$); β_3 – коэффициент учитывающих вид шлакоудаления. При жидком шлакоудалении $\beta_3=1,4$, во всех остальных случаях $\beta_3=1$; ε_1 – коэффициент, характеризующий эффективность воздействия рециркулирующих газов в зависимости от условий их подачи в топку; ε_2 – коэффициент, характеризующий снижение выбросов оксидов азота при подачи части воздуха помимо основных горелок (при двухступенчатом сжигании), определяется в зависимости от условия сохранения общего избытка за котлом; r - степень рециркуляции дымовых газов (%).

Коэффициент K для котлов паропроизводительностью более 70 т/ч при сжигании газа и мазута во всем диапазоне нагрузок, а также при высокотемпературном сжигании твердого топлива с нагрузками выше 75 % номинальной определяется по формуле

$$K = \frac{12D_\phi}{200 + D},$$

где D и D_ϕ – номинальная и фактическая паропроизводительность котла (т/ч).

Для котлов паропроизводительностью 30-70 т/ч

$$K = \frac{D_\phi}{20},$$

Для водогрейных котлов мощностью более 125 ГДж/ч (30 Гкал/ч), коэффициент K определяется по формуле

$$K = \frac{2,5Q_{\phi}}{84 + Q},$$

где Q , Q_{ϕ} – номинальная и фактическая тепловая мощность котла (ГДж/ч).

Значение β_1 для энергетических котлов, в которых сжигается твердое топливо, определяется по формуле

$$\beta_1 = 0,178 + 0,47N^r,$$

где N^r – содержание азота в топливе (%).

При сжигании жидкого и газообразного топлива с различными коэффициентами избытка воздуха в топочной камере (α_r) коэффициенты β_1 принимаются равными:

α_r	>1,05	1,05-1,03	<1,03
β_1 (газ)	0,9	0,8	0,7
β_1 (мазут)	1,0	0,9	0,75

При одновременном сжигании в топках энергетических котлов двух видов топлива с расходом одного из них более 90 % значение коэффициента β_1 должно приниматься по основному виду топлива.

1.5. Расчет выбросов загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/час

Методика предназначена для расчета выбросов вредных веществ с газообразными продуктами сгорания при сжигании твердого топлива, мазута и

газа в топках действующих промышленных и коммунальных котлоагрегатов и бытовых теплогенераторов.

Применяется следующая последовательность расчета.

1. Расчет твердых частиц. Расчет выбросов твердых частиц летучей золы и недогоревшего топлива (т/год, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата в единицу времени при сжигании твердого топлива и мазута, выполняется по формуле

$$P_{me} = B \cdot A^r \cdot \chi \cdot (1 - \eta),$$

где B – расход топлива (т/год, г/с); A^r – зольность топлива (%); η – доля твердых частиц, улавливаемых в золоуловителях; χ – поправочный коэффициент, который определяется $\chi = a_{yn} / (100 - G_{yn})$; a_{yn} – доля золы топлива в уносе (%); G_{yn} – содержание горючего в уносе (%).

2. Расчет выбросов оксида серы. Расчет выбросов оксида серы в пересчете на SO_2 (т/год, г/с), выбрасываемых в атмосферу с дымовыми газами котлоагрегата в единицу времени, выполняется по формуле

$$P_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^r \cdot (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}),$$

где B – расход твердого и жидкого (т/год, г/с), газообразного (тыс м³/год, тыс м³/час) топлива; S^r – содержание серы в топливе (% для газообразного топлива мг/м³); η'_{SO_2} – доля оксидов серы, связываемых летучей золой топлива; η''_{SO_2} – доля оксидов серы, улавливаемых в золоуловители (для сухих золоуловителей принимается равной нулю, для мокрых в зависимости от щелочности орошающей воды).

При наличии в топливе сероводорода расчет выбросов дополнительного количества оксидов серы в пересчете принимается на SO_2 ведется по формуле

$$P_{SO_2} = 1,88 \cdot 10^{-2} \cdot B \cdot H_2S,$$

где H_2S – содержание сероводорода в топливе (%).

3. Расчет оксидов углерода. Расчет выбросов оксида углерода в единицу времени (т/год, г/с), выполняется по формуле

$$P_{co} = 0,001 \cdot C_{co} \cdot B \cdot (1 - \frac{q_4}{100}),$$

где B - расход топлива (т/год, г/с, м³/год, л/с); C_{co} – выход оксида углерода при сжигании топлива (кг/т, кг/тыс.м³ топлива) – рассчитывается по формуле

$$П_{co} = q_3 \cdot R \cdot Q_i^r,$$

где q_3 - потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива (%); R – коэффициент, учитывающий долю потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива, обусловленной наличием в продуктах сгорания оксида углерода (для твердого топлива $R=1$, для мазута $R=0,65$); Q_i^r – низшая теплота сгорания топлива (МДж/кг, МДж/м³).

При отсутствии эксплуатационных данных значения q_3, q_4 принимают из справочной литературы.

Ориентировочная оценка выброса оксида углерода (т/год, г/с) может производиться по формуле

$$П_{co} = 0,001 \cdot K_{co} \cdot B \cdot Q_i^r \cdot (1 - \frac{q_4}{100}),$$

где K_{co} – количество оксида углерода на единицу теплоты, выделяющейся при горении топлива (кг/ГДж) принимается по справочной литературе

4. Расчет оксидов азота. Количество оксидов азота (в пересчете на NO₂), выбрасываемых в единицу времени (т/год, г/с), рассчитывается по формуле:

$$П_{NO_x} = 0,001 \cdot K_{NO_x} \cdot B \cdot Q_i^r \cdot (1 - \beta),$$

где B – расход натурального топлива за рассматриваемый период времени (т/год, тыс. м³/год, г/с, л/с); Q_i^r – теплота сгорания натурального топлива (МДж/кг, МДж/м³); K_{NO_2} – параметр, характеризующий количество оксидов азота, образующихся на 1 ГДж тепла (кг/ГДж); β – коэффициент, зависящий от степени снижения выбросов оксидов азота в результате применения технических решений.

Значение K_{NO_2} определяется по графикам для различных видов топлива в зависимости от номинальной нагрузки котлоагрегатов. При нагрузке котла,

отличающейся от номинальной K_{NO_2} следует умножать на $(\frac{Q_\phi}{Q_n})^{0,25}$ или на $(\frac{D_\phi}{D_n})^{0,25}$, где D_n , D_ϕ – соответственно номинальная и фактическая паропроизводительность (т/ч), Q_n , Q_ϕ – соответственно номинальная и фактическая мощность (кВт).

Если имеются данные о содержании оксидов азота в дымовых газах (%), то выброс (кг/год) вычисляют по формуле:

$$П_{NO_x} = 20,4 \cdot C_{NO_x} \cdot V \cdot B \cdot (1 - \frac{q_4}{100}),$$

где C_{NO_x} – известное содержание оксидов азота в дымовых газах (% по объему). Значение C_{NO_x} (мг/м³) приводятся в справочной литературе; V – объем продуктов сгорания топлива (м³/кг) при известном коэффициенте избытка воздуха.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение пыли?
2. Что называют дымом?
3. Что называют туманом?
4. Что называют фракцией?
5. Какие виды дисперсного анализа существуют?
6. Источник образования пыли?
7. Какие основные загрязняющие вещества от котлов тепловых станций?
8. Какие основные загрязняющие вещества при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/ч ?
9. Последовательность расчета основных загрязняющих веществ от котлов тепловых станций?
10. Последовательность расчета основных загрязняющих веществ при сжигании топлива в котлах производительностью до 30 т/ч?

Содержательный модуль 2

2. Пылеосадочные камеры и аппараты сухой инерционной очистки газов

2.1. Общие положения

К пылеосадочным камерам и аппаратам сухой инерционной очистки газов относят:

1. Пылеосадочные камеры и некоторые их простейших конструкции пыле- и золоуловителей инерционного действия
2. Жалюзийные аппараты
3. Циклоны в одиночном и групповом исполнении
4. Прямоточные циклоны
5. Батарейные циклоны
6. Ротационные пылеуловители
7. Дымососы-золоуловители

Основным достоинством большинства из этих аппаратов является простота конструкции, определяющая возможность их изготовления на нестационарных предприятиях.

Однако эффективность очистки газов, достигаемая в перечисленных аппаратах, часто оказывается недостаточной. Поэтому многие из рассматриваемых аппаратов применяется главным образом в качестве первой степени очистки газов перед более эффективными пыле- и золоуловителями.

2.2. Пылеосадочные камеры

Пылеосадочная камера предназначена для грубой очистки воздуха от пыли. В пылеосадочных камерах используется гравитационное осаждение частиц из горизонтально направленного потока газов. Для обеспечения эффективной очистки газов необходимо, чтобы частицы находились в пылеосадочной камере достаточно продолжительное время.

Основные конструктивные исполнения пылеосадочных камер представлены на рис 2.1.

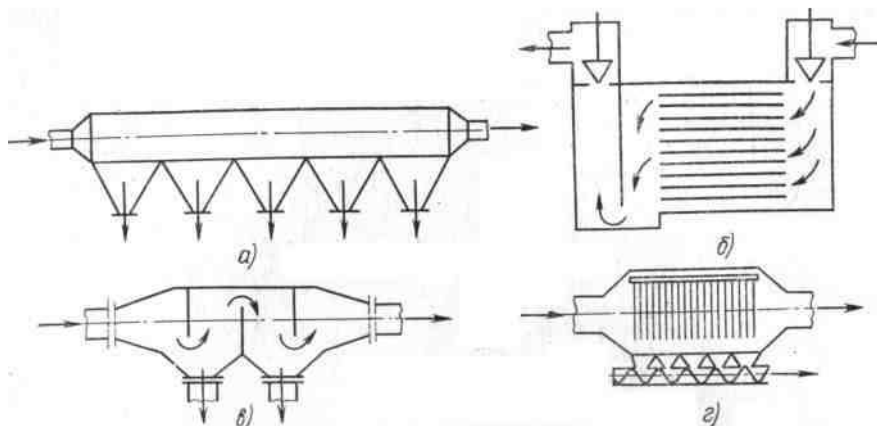


Рис.2.1 - Пылеосадочные камеры:

- а) простейшая камера; б) многополочная камера; в) камера с перегородками; г) камера сцепными или проволочными завесами.

Габаритные размеры камер, необходимые для седиментационного осаждения частиц крупнее заданного размера $d_{ч.з}$, обычно подбираются с помощью приближенного соотношения

$$L = H \frac{w_z}{w_{ч.з}},$$

где L – длина камеры, м; H – высота камеры, м; w_z – скорость движения газов в камере, обычно выбираемая в пределах от 0,2 до 0,8 м/с; $w_{ч.з}$ – скорость витания частиц с размером $d_{ч.з}$ (определяется по номограмме), м/с.

При этом теоретически достижимая в пылеосадочной камере эффективность очистки газов будет равна относительной доле частиц с размерами крупнее $d_{ч.з}$, найденной по результатам дисперсионного анализа пыли.

Для пылеосадочных камер с $L/H > 3$ значения парциальных коэффициентов очистки, % можно найти достаточно точно по формуле

$$\eta_n = 100 \cdot \left[1 - \frac{1}{i} \sum_0^i n \right],$$

где i – число точек, для которых рассчитывается концентрация частиц; n – отношение концентрации частиц данного размера в расчетной точке выходного

сечения камеры к концентрации во входном сечении. Концентрация этих частиц во входном сечении принимается равномерно распределенной по сечению.

Материалом для постройки камер и могут служить кирпич или сборный железобетон реже сталь и дерево (для холодных газов).

Для равномерного газораспределения по сечению пылесадочной камеры могут снабжаться диффузорами и газораспределительными решетками, а для снижения высоты осаждения частиц – горизонтальными или наклонными полками. В некоторых конструкциях пылесадочных камер для повышения их эффективности предусматривается устройство цепных или проволочных завес и отклоняющихся перегородок.

Габариты камеры, необходимые для седиментационного осаждения частиц крупнее заданного размера ($d_{ч.з.}$), обычно подбирают с помощью приближенного соотношения.

К простейшим пылесадителям инерционного типа относят аппараты представленные на рис.2.2.

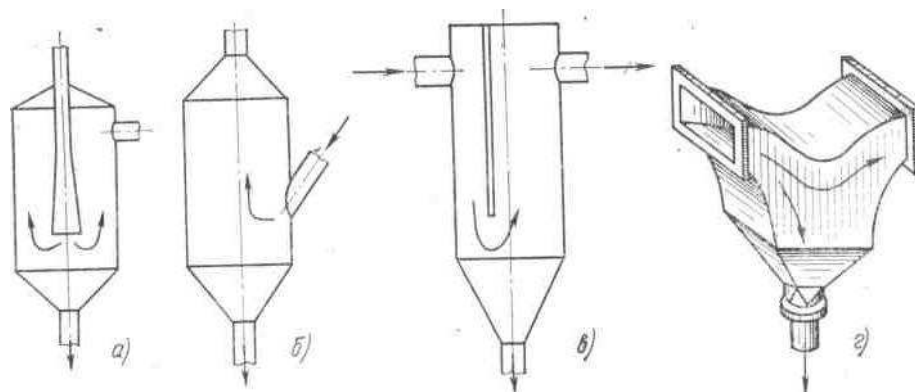


Рис.2.2 - Простейшие пылесадители инерционного действия:

- а) пылевой мешок с центральным подводом газа; б) пылевой мешок с боковым подводом газа; в) пылесадитель с отражательной перегородкой; г) пылесадитель, встраиваемый в газопровод.

2.3. Жалюзийные пыле- и золоуловители

Жалюзийный пылеуловитель предназначен для улавливания крупнодисперсной пыли диаметром 30-40 мкм. Применяются для очистки промышленных газов и как золоуловители. Часто используются в качестве первой ступени очистки. В основе принципа работы жалюзийных пылеуловителей лежит инерционный отражательный принцип.

Жалюзийный пылеуловитель характеризуется следующими параметрами: гидравлическое сопротивление; остаточная запыленность.

Жалюзийный пылеуловитель состоит из двух основных частей: жалюзийной решетки и отсосного пылеуловителя.

Схема работы жалюзийного аппарата представлена на рис. 2.3.

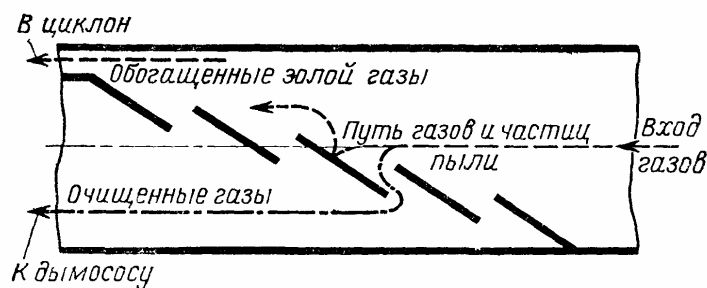


Рис.2.3 - Схема работы жалюзийного аппарата

Назначение жалюзийной решетки – разделить газовый поток на две части: одну в значительной мере освобожденную от пыли и составляющую 80-90% всего количества газа и другую (10-20%), в которой сосредоточена основная масса содержащейся в газе пыли, улавливаемой затем в циклоне или другом достаточно эффективном пылеуловителе. Движение газов через отсосный тракт происходит: а) под действием перепада давления на жалюзийной решетке (рис.2.4, а); б) под действием перепада давления вследствие наличия местных сопротивлений основного газохода (если отводящий газоход включается в основной газоход после расположенного в нем местного сопротивления —

рис. 2.4 б), в) под действием эжекции, создаваемой основным потоком газов (рис. 2.4, в).

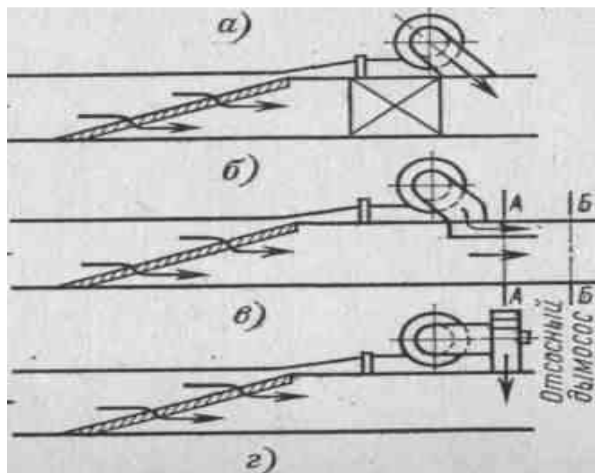


Рис.2.4- Схема движения газов через пылеконцентратор

Схема жалюзийного золоуловителя представлена на рис.2.5.

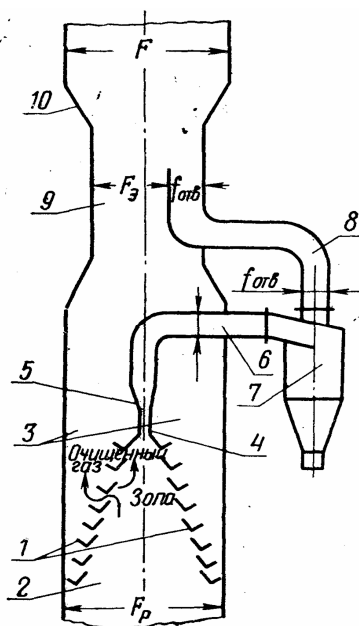


Рис.2.5- Схема установки жалюзийного золоуловителя с эжектором:

- 1) жалюзийная решетка; 2) входная камера; 3) выходная камера; 4) отсосная щель; 5) диффузор; 6) подводящий газоход; 7) отсосный циклон;
- 8) отводящий газоход; 9) эжектор; 10) диффузор.

Поскольку жалюзийный золоуловитель состоит из жалюзийной решетки и отсосного пылеуловителя (циклона), эффективность улавливания в нем частиц зависит от эффективности самой решетки, эффективности отсосного пыле- или золоуловителя и доли отсасываемого в него газа.

Последовательность расчета жалюзийных золоуловителей: сначала задаются гидравлическим сопротивлением, определяют скорость газа во входной камере, определяют геометрические размеры, рассчитывают отсосную систему и коэффициент очистки.

2.4. Циклоны

При работе циклона используется центробежная сила, которая развивается при вращательно-поступающем движении газового потока. Под действием центробежной силы частицы золы или пыли подводятся к стенке циклона и вместе с частью газов попадают в бункер. Попавшая в бункер часть газов, освободившись от пыли, возвращается в циклон через центральную часть пылеотводящего отверстия, давая начало внутреннему вихрю очищенного газа, покидающего аппарат. Отделение частиц от попавших в бункер газов происходит под действием сил инерции при перемене направления движения газов на 180° .

Циклоны могут нормально работать при любом их положении в пространстве, но чрезвычайно чувствительны к присосам через бункер из-за увеличения объемов газов, движущихся навстречу пыли; бункер участвует в аэродинамике циклонного процесса, поэтому использование циклонов без бункера приводит к ухудшению эффективности аппаратов.

Некоторое представление о разнообразии конструктивного оформления циклонов представлено на рис. 2.6.

Все циклоны могут выполняться как для «правого», так и для «левого» вращения газового потока. «Правым» принято называть вращение газового потока в циклоне по часовой стрелке, если смотреть со стороны выхлопной трубы; «левым» - вращение против часовой стрелки.

Согласно ГОСТ для циклонов принят следующий ряд диаметров: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 100, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, и 3000 мм.

Однако для цилиндрических циклонов в одиночном исполнении этот ряд следует ограничивать значением 2000 мм, а в групповом исполнении 1800 мм. Кроме того, для ограничения типоразмеров групповых циклонов сборки из аппаратов с диаметрами 300, 500 и 700 мм рекомендуется по возможности не применять, а заменять равноценными по производительности группами из циклонов других диаметров. Для всех одиночных циклонов бункеры выполняются цилиндрической формы.

Для всех одиночных циклонов бункера выполняются цилиндрической формы.

Рекомендуемые диаметры бункеров принимают исходя из следующих соотношений:

$$D_{\text{бункера}} = 1,5 D \text{ (для цилиндрического циклона);}$$

$$D_{\text{бункера}} = 1,1 - 1,2D \text{ (для конического циклона).}$$

Высота конической цилиндрической части бункера принимается $0,8D$, днище бункера выполняется с углом стенок 60° .

Для осмотра и очистки бункера в них предусматриваются люки диаметром 250 мм и 500 мм. Отверстия для выгрузки пыли принимаются в зависимости от емкости бункера и производительности циклона следующих размеров: 200, 300, 500 мм.

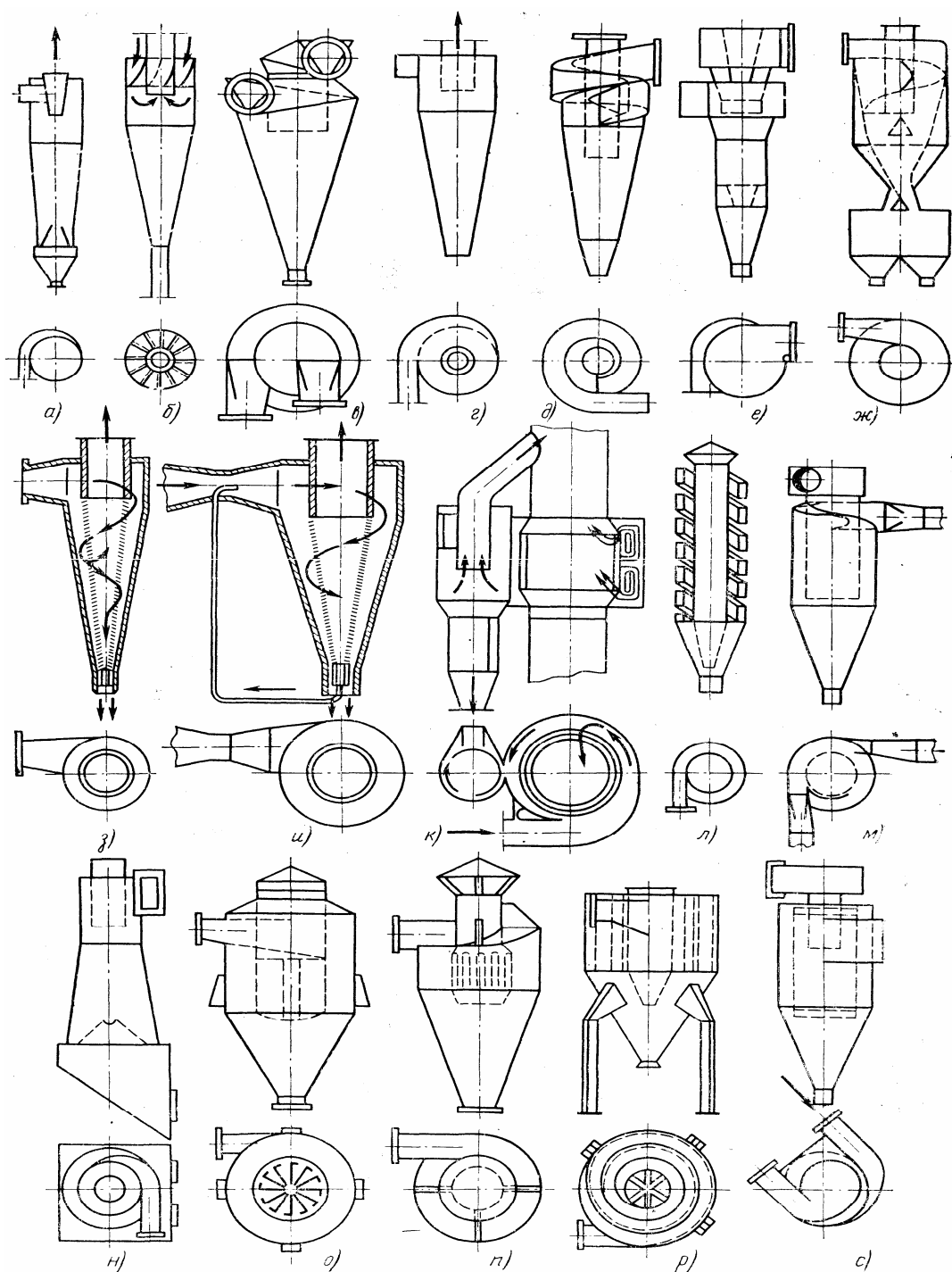


Рис. 2.6 - Примеры конструкций циклонов:

а,б) чешские циклоны; в) СИОТ; г) циклон Мельтстроя; д) СВК ЦН-15; е) циклон Давидсона; ж) циклон с двойной сеткой; з) циклон с перфорированной выхлопной трубой; и) циклон с рециркуляцией; к) двойной циклон; л) циклон Сыркина; м) циклон ЛИОТ; н) циклон ВЦИИОТ; о,п) циклоны Гипродревпрома; р) циклон Полизиуса; с) циклон с обводом пыли.

Отвод очищенного газа циклонов группы выполняют либо через улитки, устанавливаемые на каждом циклоне и объединяемые общим коллектором, либо непосредственно через общий коллектор группы. Применение выходных улиток уменьшает необходимую высоту группы.

Цилиндрические циклоны часто применяют в промышленной теплоэнергетике (в качестве золоуловителя), для очистки дымовых газов.

Конические циклоны нашли свое применение в установках каталитического крекинга нефтепродуктов, дегидрирования бутана при улавливании пылей, обладающих высокой абразивностью и слипаемостью.

Попытки снизить гидравлическое сопротивление циклонных пылеуловителей при одновременном уменьшении габаритов и получении целого ряда других преимуществ привели к разработке прямоточных циклонов. Например, прямоточный циклон «ЦП».

Прямоточный циклон «ЦП»

Одиночный прямоточный циклон - это механический пылеуловитель с сепарацией пыли по ходу движения газовой воздушной смеси, который предназначен для очистки сухих воздушных потоков от различных видов неслипающейся среднedisперсной и крупнодисперсной пыли. Циклон предназначен для различных систем вентиляции, систем очистки и рециркуляции воздуха. Циклон монтируется только горизонтально, непосредственно в вентиляционный канал. Осевая скорость воздушного потока должна быть не менее 12 м/сек. Температура перемещаемого воздушного потока не должна превышать 110 град С. Очищаемый воздушный поток не должен содержать взрывоопасных смесей. Корпус циклона изготавливается из листовой стали и окрашивается высококачественной порошковой краской, которая обеспечивает высокую защиту корпуса от воздействий окружающей среды. Рабочее положение корпуса циклона - горизонтальное, патрубка удаления пыли, позволяющего подсоединить к циклону накопительный

пылесборник - вертикально вниз. При помощи ниппелей из комплекта поставки циклон соединяется с входным и выходным воздуховодами. При помощи комплекта монтажных опор циклон может быть установлен на пол.

«КЦ-1000», «КЦ-2500», «КЦ-4000»: соответствующий циклон и два ниппеля для монтажа в круглый канал.

«ЦПО-1000», «ЦПО-2500», «ЦПО-4000»: соответствующий циклон, два ниппеля для монтажа в круглый канал, гибкий воздуховод соответствующего диаметра с 2-мя хомутами, пылесборник объемом 40 л, опоры для напольной установки.

«ЦП-1000», «ЦП-2500», «ЦП-4000»: тоже, что предыдущие, но без опор для напольной установки.

Технические характеристики прямооточного циклона «ЦП»

Модель	Производительность, (куб.м/ч)	Эффективность очистки от		Диаметр канала, (мм)	Вес, (кг)
		среднедисперсной пыли, (%)	крупнодисперсной пыли, (%)		
ЦП-1000	300-1400	< 90	> 90	160	6,7
ЦП-2500	1500-3000	< 90	> 90	250	15,7
ЦП-4000	3500-5500	< 90	> 90	315	25,5

Рекомендуемая производительность для **«ЦП-1000»** - 1000 куб.м/ч.

Рекомендуемая производительность для **«ЦП-2500»** - 2500 куб.м/ч.

Рекомендуемая производительность для **«ЦП-4000»** - 4000 куб.м/ч.

Для расчетов циклонов необходимы следующие данные: 1) количество очищаемого газа при рабочих условиях ($\text{м}^3/\text{с}$); 2) плотность газа при рабочих условиях ($\text{кг}/\text{м}^3$); 3) динамическая вязкость газа при рабочей температуре ($\text{Н с}/\text{м}^2$); 4) дисперсный состав пыли; 5) запыленность газа ($\text{г}/\text{м}^3$); 6) плотность частиц ($\text{кг}/\text{м}^3$); 7) требуемая эффективность очистки.

Расчеты могут показать, что при заданных условиях невозможно обеспечить требуемое значение коэффициента очистки газов или для этого необходимы чрезмерные потери. В последнем случае только экономический расчет различных схем пылеулавливания может определить оптимальные аппараты.

Существуют схемы комбинированных циклонов с фильтром например, пылеулавливающий агрегат «ПУ».

Пылеулавливающий агрегат «ПУ»

Пылеулавливающий агрегат - это фильтровальный агрегат с двухступенчатой очисткой воздуха, который предназначен для очистки сухих воздушных потоков от различных видов не слипающейся и не волокнистой средне- крупнодисперсной пыли. Пылеулавливающий агрегат предназначен для различных систем вентиляции, систем очистки и рециркуляции воздуха. Температура перемещаемого воздушного потока не должна превышать 80°C . Очищаемый воздушный поток не должен содержать взрывоопасных смесей.

Принцип работы пылеулавливающего агрегата основан на использовании - при отделении крупной фракции - центробежных сил, возникающих при вращении воздушно-пылевого потока внутри корпуса агрегата, и последующей фильтрации потока в рукавах из фильтровальной ткани.

Воздушный поток через входной патрубок пылеулавливающего агрегата поступает в цилиндрический корпус. Под действием центробежных сил крупные частицы пыли отбрасываются к стенкам корпуса, теряют скорость и

спадают в пылесборник с совком. Мелкие частички улавливаются фильтровальными рукавами, которые периодически очищаются с помощью ручного встряхивающего механизма. В результате очищенный воздух, проходя через вентилятор выбрасывается наружу сверху корпуса агрегата.

Корпус пылеулавливающего агрегата изготавливается из листовой стали и окрашивается высококачественной порошковой краской, которая обеспечивает высокую защиту корпуса от воздействий окружающей среды.

С боку корпуса агрегата расположен входной патрубок круглого сечения, позволяющий подключить к агрегату вентиляционное или технологическое оборудование. Сверху корпуса агрегата крепится вытяжной вентилятор или воздуховод централизованной системы вытяжной вентиляции. В нижней части корпуса агрегата располагается пылесборник с совком. Очистка рукавных фильтров, которые могут быть легко заменены на новые, производится ручным встряхивающим механизмом.

Пылеулавливающий агрегат поставляется в готовом для эксплуатации виде, в подвижном или стационарном исполнении, что уточняется при заказе.

Технические характеристики пылеулавливающего агрегата «ПУ»

Модель	Рекоменд. вентилятор	Макс. расход воздуха, (куб.м/ч)	Макс. потеря давления, (Па)	Активная фильтрующая поверхность, (кв.м)	Вес, (кг)
ПУ-800	FUA-1800/SP FUA-2100/SP	800	1000	4,2	50
ПУ-1500	FUA-3000/SP	1500	1100	5,0	70
ПУ-2500	FUA-3000/SP	2500	1100	8,2	90
ПУ-4000	FUA-4700/SP	4000	1200	9,8	100

Эффективность очистки агрегата до 99%. Уровень шума не более 80 Дб (А).

«ПУ-800» снабжен 16 рукавными фильтрами диаметром 100 мм.

«ПУ-1500» снабжен 19 рукавными фильтрами диаметром 100 мм.

«ПУ-2500», «ПУ-4000» снабжен 31 рукавным фильтром диаметром 130 мм.

Габаритные размеры

Модель	A, (мм)	B, (мм)	D, (мм)	H, (мм)
ПУ-800	160	560	160	1550
ПУ-1500	250	630	160	1600
ПУ-2500	250	800	250	2000
ПУ-4000	250	880	280	2000

Основной недостаток циклонов - это унос теплоты из помещения с аспирационным воздухом, такие системы являются централизованными, т. е. имеют значительную протяженность воздуховодов и мощный вентилятор. Поэтому наблюдается в системах перерасход электроэнергии из-за высокого аэродинамического сопротивления аспирационных систем и низкого КПД использования вентилятора. Другой недостаток циклонов – несоблюдение экологических нормативов качества атмосферного воздуха.

2.5. Расчет циклона

Для расчета циклона необходимы следующие исходные данные:

- 1) количество очищаемого газа при рабочих условиях Q_p , м³/с;
- 2) плотность газа при рабочих условиях ρ , кг/м³;
- 3) динамическая вязкость μ_t , Н·с/м²;
- 4) дисперсный состав пыли, задаваемый двумя параметрами: d_m и $lq\sigma_{ch}$;
- 5) запыленность газа $C_{вх}$, г/м³;
- 6) требуемая эффективность очистки газа η .

Расчет циклона проводится методом последовательных приближений в следующем порядке.

1. Задавшись типом циклона по параметрам определяющим эффективность циклона (справочная литература) определяют оптимальную скорость газа в аппарате $W_{опт}$

2. Определяют необходимую площадь сечения циклонов, м²

$$F = \frac{Q_p}{W_{onm}},$$

где Q_p – количество очищаемого газа при рабочих условиях, м³/с.

3. Определяют диаметр циклона, м, задаваясь количеством циклонов N

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot N}}$$

Диаметр циклона округляют до величины рекомендуемой.

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне

$$W = \frac{Q_p}{0,785 \cdot N \cdot D^2}$$

Скорость в циклоне не должна отклоняться более чем на 15 % от оптимальной скорости.

5. Определяют коэффициент гидравлического сопротивления циклона или группы циклонов по формуле:

$$\zeta_{\eta} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{\eta,500}^{c.n.} + K_3,$$

где $\zeta_{\eta,500}^{c.n.}$ – к примеру, обозначает коэффициент гидравлического одиночного циклона диаметром 500 (определяется по значениям местных сопротивлений циклонов). Индекс «с» означает, что циклон работает в гидравлической сети, а индекс «п», что циклон работает без сети, т.е. прямо на выхлоп в атмосферу; K_1 – поправочный коэффициент на диаметр циклона (справочная литература); K_2 – поправочный коэффициент на запыленность газа (справочная литература); K_3 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу (справочная литература). Для одиночных циклонов $K_3=0$.

6. Определяют потери давления в циклоне, Па по формуле

$$\Delta P = \zeta_{\eta} \cdot \frac{\rho \cdot W^2}{2}$$

Если значение ΔP приемлемо, то переходят к расчету полного коэффициента очистки газа в циклоне. При этом принимается, что коэффициент очистки газов в группе циклонов одинаков.

7. Взяв из справочной литературы d_{50}^m и $lq\sigma_\eta^m$, которые характеризуют парциальную эффективность выбранного типа циклона при указанных условиях, определяют значение параметра d_{50} при рабочих условиях (диаметре циклона, скорости потока, плотности пыли, динамической вязкости газа) по уравнению

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{ч.м.}}{\rho_{ч.}}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_m}\right) \cdot \left(\frac{W_T}{W}\right)},$$

где μ_m – динамическая вязкость газа при рабочей температуре, Н·с/м²; $\rho_{ч.}$ – плотность частиц, кг/м³.

8. Определяют параметр X по формуле

$$X = \frac{\lg(d_m / d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\epsilon}},$$

где $d_m, lq\sigma_\epsilon$ – параметры, задающиеся составом пыли; $d_{50}, lq\sigma_\eta$ – данные из справочной литературы.

9. По справочным таблицам в зависимости от значений X определяют нормальную функцию распределения $\Phi(x)$ и полный коэффициент очистки газов, %, по формуле

$$\eta_p = 50[1 + \Phi(x)]$$

По окончании расчета полученное значение η_p сопоставляют с требуемым, если η_p окажется меньше требуемой необходимо выбрать другой тип циклона с большим коэффициентом гидравлического сопротивления.

Для ориентировочных расчетов необходимого значения $\zeta_{ц}$ рекомендуется следующая зависимость

$$\zeta_{ц2} = \zeta_{ц1} \left(\frac{100 - \eta_p}{100 - \eta} \right)^2 \cdot \frac{w_1}{w_2} \cdot \frac{D_2}{D_1},$$

где индекс 1- относится к расчетным, а индекс 2 – к требуемым параметрам циклона.

2.6. Батарейный циклон

Батарейный циклон представляет собой пылеулавливающий аппарат, составленный из большого количества параллельно установленных циклонных элементов, объединенных в одном корпусе и имеющих общий подвод и отвод газов, а также сборный бункер (рис. 2.7).

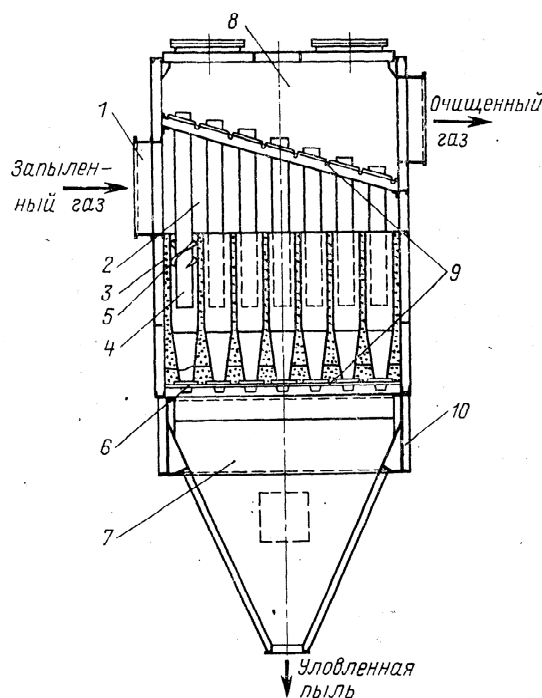


Рис. 2.7 - Характерная конструкция батарейного циклона с обычными элементами:

1) входной патрубок; 2) распределительная камера 3) кольцевые зазоры; 4) входные патрубки; 5) направляющие аппараты (закручивающие поток газа); 6) пылеотделяющие отверстия; 7) общий бункер; 8) камера очищенного газа.

Батарейные циклоны могут быть составлены из обычных и прямоточных циклонных элементов. Последние обладают меньшей эффективностью и поэтому в качестве самостоятельных ступеней очистки газов применяются редко.

В обозначении аппаратов (например, БЦРН-150-2 12 20): первое число – диаметр элемента, мм; второе – количество камер, раздающий газ по

элементам; третье – количество элементов в горизонтальном ряду; четвертое – количество элементов в вертикальном ряду.

Наиболее распространены циклонные элементы диаметром 100, 150 и 250 мм. Опыт эксплуатации батарейных циклонов с элементами разного диаметра показывает, что аппараты, составленные из большого количества циклонных элементов малого диаметра (100 и 150 мм) без отсоса газов из пылевого бункера, вопреки теоретическим соображениям работают недостаточно эффективно и надежно.

Очистка газов от золы и пыли в прямоточном батарейном циклоне происходит следующим образом: газ поступает в входные патрубки элементов при прохождении через направляющий аппарат приобретает направляющее движение, вследствие чего частицы отбрасываются к стенкам входного патрубка и далее выбрасываются через кольцевые щели в специальную пылевую камеру. Очищенный газ удаляется через входной патрубок.

В качестве самостоятельной ступени очистки применяются редко. Используются для предварительной очистки перед электрофильтрами, рукавными фильтрами и т.д.

Наиболее распространенные циклоны диаметром 100, 150 и 200 мм. Корпус и бункер батарейного циклона изготавливается сварными из листовой стали. На стенки бункера для монтажных работ, осмотра, очистки устраивают люк.

Необходимое число элементов батарейного циклона определяют исходя из оптимальной скорости потока в элементе, которая обычно лежит в пределах от 2,5-4,75 м/с. При дальнейшем увеличении скорости потока коэффициента очистки газа пыли не возрастает, но увеличивается опасность абразивного износа элементов батарейного циклона. При скорости потока в элементе меньше 3,5 м/с существенно снижается коэффициент очистки газа, а также возникает опасность забивания элементов золой и пылью. Оптимальная скорость в циклонных элементах лежит в пределах 11-13 м/с.

1. Расход газа через один элемент определяют из выражения, м³/с

$$q = w \cdot \frac{\pi D^2}{4} = 0,785 \cdot w \cdot D^2,$$

где w – скорость газа, м/с; D – диаметр элемента, м.

2. Аэродинамическое сопротивление батарейных циклонов, Па

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot w}{2},$$

где ζ – коэффициент гидравлического сопротивления; ρ – плотность частицы, кг/м³.

3. Общий коэффициент очистки η' с учетом рециркуляции, учитывающий снижение эффективности на 10 %

$$\eta' = \frac{0,9 \cdot \eta_u \cdot \eta}{1 - 0,9 \cdot \eta \cdot (1 - \eta_u)},$$

где η_u – коэффициент очистки в циклоне отсосной линии; η – коэффициент очистки в одиночном циклонном элементе.

2.7. Пылеуловители

Пылеуловитель – это аппарат, используемый в промышленности для очистки газов или жидкостей от взвешенных частиц. Принцип очистки – инерционный с использованием центробежной силы. Применяются такие аппараты во всех отраслях промышленности. Собранный ими пыль может проходить дальнейшую переработку.

Существуют пылеуловители прямоточные и противоточные.

Простейшие центробежные пылеуловители представляют собой механизм, состоящий из рабочего колеса и кожуха (пылеприемника), рис. 2.8.

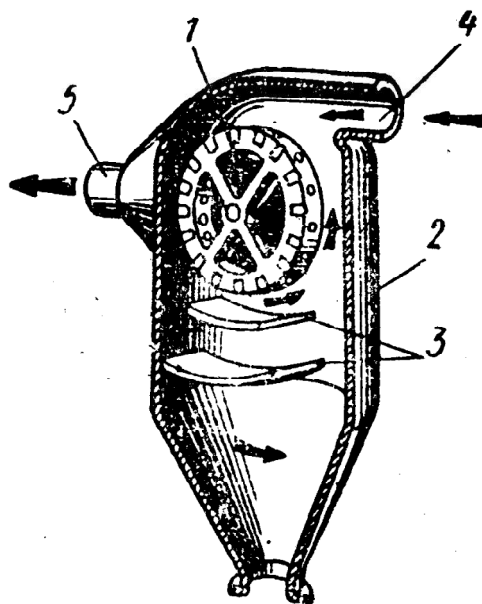


Рис. 2.8- Центробежный пылеуловитель конструкции Якимова:

1) перфорированный барабан; 2) корпус; 3) полки;

4,5) патрубки дымососы-золоуловители.

Пылегазовая смесь приводится во вращательное движение рабочим колесом при этом под действием развивающихся сил (центробежной силы и силы Кориолиса) из очищаемого газа выделяется пыль.

В зависимости от соотношения центробежных сил и сил аэродинамического сопротивления газа достигается та или иная степень очистки.

Все известные конструкции ротационных пылеотделителей можно разделить на две группы. В пылеотделителях первой группы отделяемые частицы двигаются в направлении подачи газа. Очищаемый газ поступает в центральную часть колеса, вращающегося в спиралеобразном кожухе. Под действием развивающихся центробежных сил и сил Кариолиса частицы попадают на периферию диска и одновременно перемещаются поперек ротора в пылесборник, а очищаемый газ выходит из пылеотделителя через патрубок чистого газа. В ротационных пылеуловителях второй группы, улавливаемые частицы перемещаются в направлении, обратном движению газа. Очищаемый газ всасывается во вращающийся барабан через отверстия, расположенные на его боковой поверхности. В пограничном слое частота вращения пыле газового потока достигает окружной частоты вращения барабана; благодаря этому

частицы пыли, преодолевая силы аэродинамического сопротивления газа, выделяются из очищаемого потока в радиальном направлении к периферии. В зависимости от соотношения центробежных сил и сил аэродинамического сопротивления газа достигается та или иная степень очистки.

Для увеличения производительности пылеуловителя, а также для уменьшения его размеров в последнее время стали применять электронные пылеуловители.

Принцип действия такого пылеуловителя заключается в том, что загрязненный воздух проходит через металлическую трубу, внутри которой установлены две проволочные сетки (играющие роль фильтра). Одна из сеток изолирована от корпуса и находится по отношению к нему под постоянным положительным напряжением 5,2 кВ. Другая сетка имеет электрический контакт с корпусом. Частицы пыли, проходя через первую сетку, приобретают электрический заряд, который заставляет их оседать на сетке второго фильтра, имеющей по отношению к первой сетке отрицательный потенциал.

К достоинствам пылеуловителей можно отнести их простоту в разработке, надежность, высокую производительность, имеют довольно низкое гидравлическое сопротивление, могут использоваться для очистки агрессивных и высокотемпературных газов и газовых смесей. Недостатками являются невозможность улавливания пылей малых размеров, а также их малая долговечность, особенно при очистке газов от пылей с высокими абразивными свойствами.

2.8. Дымососы – золоуловители

Применяются дымососы-золоуловители (рис 2.9) чаще всего на малых котельных.

Дымосос-золоуловитель работает следующим образом: дымовые газы входят в спиральную коробку и приобретают криволинейное движение, в результате зола под действием инерционных сил отделяется из потока и

концентрируется в пристенной зоне через золовыпускной патрубок зола отводится в выносной циклон за счет перепада давления, создаваемого дополнительной крыльчаткой. Оптимальный отсос газа через выносной циклон составляет 15-19 %.

После циклона газовый поток снова возвращается в улитку через крыльчатку, которая дополнительно закручивает поток в кожухе входной коробки, способствует повышению эффективности дымососа-золоуловителя. На входе в дополнительную улитку устанавливается языковая заслонка, регулирующая расход газа.

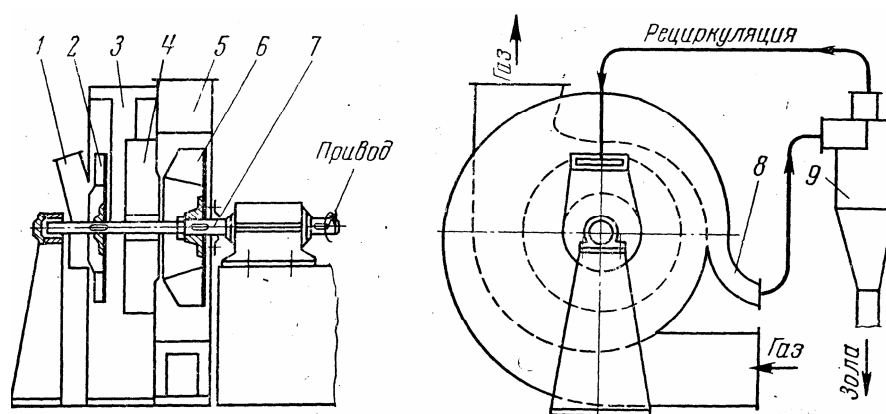


Рис.2.9 - Схема дымососа золоуловителя:

- 1) всасывающий патрубок тракта рециркуляции; 2) крыльчатка тракта рециркуляции; 3) плиточный золоуловитель; 4) направляющий аппарат; 5) улитка рабочего колеса; 6) рабочее колесо дымососа; 7) вал рабочего колеса; 8) патрубок вывода уловленной золы; 9) циклон.

Коэффициент очистки газов в дымососе–золоуловителе может быть определен по формуле

$$\eta = \frac{\eta_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{ул}}}{1 - \eta_{\text{ул}} \cdot (1 - \eta_{\text{ц}})},$$

где $\eta_{\text{ц}}$ – коэффициент очистки газа в циклоне; $\eta_{\text{ул}}$ – коэффициент очистки в улитке.

Данная формула справедлива при условии, что доля рециркулирующего газа составляет не менее 15 %.

Слабое влияние коэффициента очистки газа в циклоне на общий коэффициент очистки газов в дымососе-золоуловителе все не позволяет устанавливать циклоны низкой эффективностью улавливания пыли. Это объясняется тем, что с уменьшением коэффициента очистки газа в циклоне растет концентрация частиц в отсосном тракте, что приводит к увеличению интенсивности абразивного износа циклонов улитки, отсосных линий и дополнительного рабочего колеса.

К достоинствам дымососов-золоуловителей относят малые аэродинамические потери на улавливание частиц (100-150 Па), постоянство коэффициента очистки газов при всех нагрузках, минимальное значение металлоемкости и удельных капитальных затрат.

Контрольные вопросы

1. Что такое пылеосадочная камера?
2. Какие силы участвуют в работе циклона?
3. Какие разновидности существуют пылеосадочных камер?
4. В чем отличие циклона и батарейного циклона?
5. Последовательность расчета циклона?
6. Как работает дымосос- золоуловитель?
7. Где применяются дымососы -золоуловители?
8. Как определяется коэффициент очистки газов в дымососе золоуловители?
9. Из каких элементов состоит центробежный пылеуловитель?
10. Какие исходные данные необходимы для расчета циклона?

Содержательный модуль 3

3. Фильтры

3.1. Основные положения

Процесс очистки газов от твердых или жидких частиц с помощью пористых сред называется *фильтрацией*. При фильтрации, взвешенные в газовом потоке частицы осаждаются на поверхности или в объеме пористых сред за счет броуновской диффузии, эффекта касания, инерционных, электростатических и гравитационных сил.

Современные фильтры условно разделяют на три класса:

- 1) Фильтры тонкой очистки - предназначены для улавливания с высокой эффективностью 99%. Такие фильтры применяются для улавливания особенно токсичных веществ, а также для ультратонкой очистки для некоторых, технологических процессов (входная концентрация 1 мг/м^3), обычно эти фильтры не поддаются регенерации.
- 2) Фильтры для очистки атмосферного воздуха (воздушный фильтр) используются в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Они рассчитаны на концентрацию пыли менее 50 мг/м^3 , часто при высокой скорости фильтрации (до $2,5\text{-}3,0 \text{ м/с}$). Могут быть регенерируемые и не регенерируемые.
- 3) Промышленные тканевые, зернистые, грубоволокнистые и другие фильтры применяют для очистки промышленных газов в основном с высокой концентрацией дисперсной фазы (до 60 мг/м^3). Обычно с регенерацией.

Волокнистые фильтры

Волокнистые фильтры представляют собой слои различной толщины, в которых более или менее однородно распределены волокна соответствующего материала.

Эти фильтры объемного действия , т.к. они рассчитаны на улавливание и накапливание частиц преимущественно по всей глубине.

Волокнистые фильтры используются при концентрации частиц примерно от 0,5 до 5 мг/м³ и условно подразделяют на тонковолокнистые, глубокие грубоволокнистые.

Тонковолокнистые фильтры часто используют в атомной энергетике, радиоэлектронике, промышленной микробиологии и химико-фармацевтических производствах. Они обеспечивают тонкую очистку больших объемов газа и воздуха от твердых и жидких частиц всех размеров, включая субмикронные.

Наиболее распространенные фильтры с материалами ФП (фильтры Петрянова) различной конструкции. Фильтрующий материал укладывается в виде ленты между П-образными рамками.

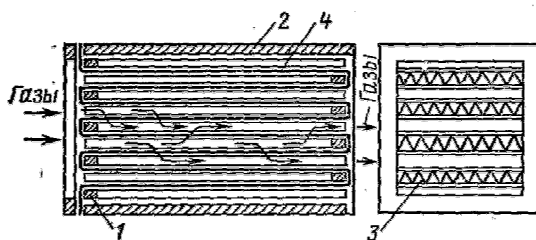


Рис. 3.1 - Устройство рамного вида

- 1) П-образная планка; 2) боковая стенка; 3) разделители из гофрированной виниловой пленки; 4) фильтрующий материал.

Глубокие фильтры

Часто называют фильтрами долговременного действия.

Состоят из глубокого лобового слоя грубых волокон и более тонкого замыкающего слоя тонких волокон, причем плотность упаковки волокон изменяется по глубине.

Глубокие волокнистые фильтры с высотой фильтрующего слоя 0,3-2,0 м широко применяют для стерилизации воздуха в производстве антибиотиков, витаминов.

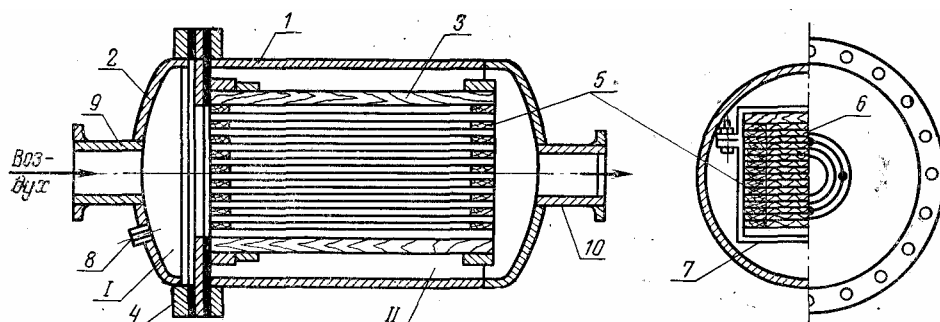


Рис.3.2- Фильтр для стерилизации воздуха:

I – нестерильная зона; II – стерильная зона; 1) корпус; 2) съемная крышка; 3) прямоугольная кассета с фильтрующим материалом; 4) дополнительный фланец; 5) П-образные рамки; 6) гофрированные сепараторы; 7) хомут; 8) штуцер; 9) патрубок для входа воздуха; 10) патрубок для выхода воздуха.

Фильтры грубой или предварительной очистки (грубоволокнистые)

Фильтрующий материал для предфильтров рекомендуется составлять из смеси волокон диаметром от 1 до 20 микрон, причем 50% волокон должны иметь размеры менее 4 мкм. При скорости фильтрации от 0,05-1 м/с материал должен почти полностью улавливать частицы крупнее 1 мкм.

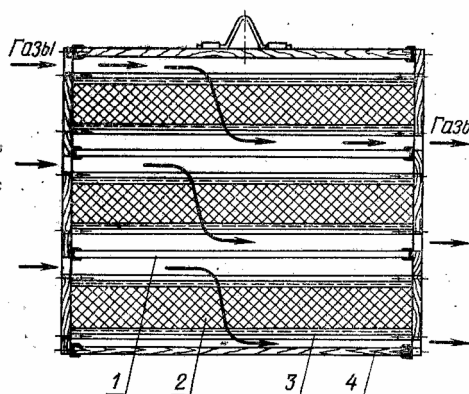


Рис.3.3- Фильтр предварительной очистки:

- 1) разделительная перегородка; 2) фильтрующий материал;
- 3) сетка; 4) кожух.

Срок службы зависит от пылеемкости предфильтра, которая в свою очередь зависит от предельно допустимого аэродинамического сопротивления аппарата.

Обычно при входной концентрации от 0,5 до 1 мг/м³ смену предфильтров производят 4-6 раз в год.

3.2. Мокрые фильтры туманоуловители

Принцип действия мокрых волокнистых фильтров-туманоуловителей основан на захвате жидких частиц волокнами при пропускании туманов через волокнистый слой с непрерывным выводом уловленной жидкости.

Отличительной особенностью волокнистых фильтров – туманоуловителей является коалесценция уловленных жидких частиц при контакте с поверхностью волокон и образованием на пленке жидкости, удаляющейся из слоя в виде струек или крупных капель, перемещающихся внутри слоя и его тыльной стороны под действием силы тяжести, увлечение газовым потоком или капиллярных сил.

Один из основных недостатков фильтров туманоуловителей является опасность зарастания солевыми отложениями.

При улавливании туманов растворов солей решающее влияние на фазовое состояние солевого аэрозоля имеет относительная влажность газа. Если она больше равновесной влажности над насыщенным раствором, твердые кристаллы солей на волокнах не образуются, если ниже равновесной, то на волокнах возникает плотная, быстрорастущая солевая оболочка.

В соответствии с основным механизмом осаждения частиц туманоуловители разделяют на низкоскоростные (до 15 см/с), работающие в диффузионном режиме осаждения частиц и снаряжаемые тонкими волокнами, и высокоскоростные, т.е. инерционные фильтры на основе грубых волокон и объемных сеток.

Низкоскоростные волокнистые туманоуловители

Для снаряжения этих фильтров оптимальной является смесь волокон с определенным соотношением грубых и тонких волокон. Часто принимают слои из смеси волокон диаметром 5-30 мкм с плотностью упаковки 100-200 кг/м³ и толщиной 5 см. В качестве фильтрующего материала часто используют стекловолно диаметром от 7 до 30 мкм, полимерные волокна от 12 до 40 мкм.

Состоит из двух соосно расположенных сеток (цилиндрических) из проволоки диаметром 3,2 мм приваренных ко дну и входному патрубку фланцу, рис. 3.4. Пространство между сеткой заполнено волокном. Дно элемента оборудовано трубкой, погруженной в стакан-затвор из которого уловленная жидкость перетекает в корпус аппарата.

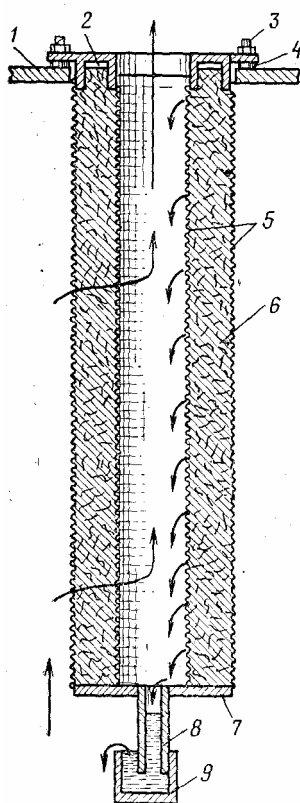


Рис.3.4 - Цилиндрический фильтрующий элемент:

1) опорная перегородка; 2) уплотняющий патрубок фланец; 3) стяжка шпилька; 4) прокладка; 5) сетка; 6) стекловолнистый слой; 7) дно; 8) трубка гидрозатвора, 9) стакан.

В зависимости от производительности установки в одном корпусе монтируется от 5-100 элементов.

Наиболее распространенные диаметры элементов: диаметр 450 мм, высота 2,4 м.

Такие фильтры могут обеспечивать эффективность улавливания мелких частиц до 99% по частицам менее 3 мкм и до 100% по частицам более 3 мкм.

Высокоскоростные туманоуловители

Определяющий механизм осаждения частиц инерционный, эффективность проявления которого растет с увеличением скорости.

Фильтр состоит из отдельных элементов, в которых волокно уложено между двумя плоскими параллельными решетками. Общий вид туманоуловителя представлен на рис. 3.5.

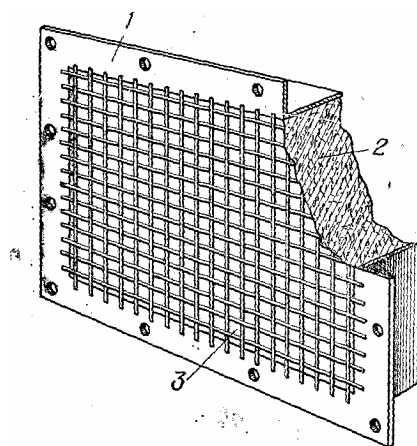


Рис. 3.5 - Элемент высокоскоростного фильтра:

1) короб; 2) стекловолокно; 3) решетки.

Благодаря универсальной химической стойкости наиболее подходящими в качестве фильтрующего материала для жидких частиц оказались полипропиленовые войлоки, что успешно позволило их применять для улавливания туманов разбавленных концентрированных кислот (H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 , HNO_3) и крепких щелочей.

Рекомендуемые скорости фильтрации – 2 - 2,5 м/с, эффективность улавливания частиц размером менее 3 мкм составляет 90-98 %. При улавливании тонких туманов необходимо применить 4,5-5 м/с.

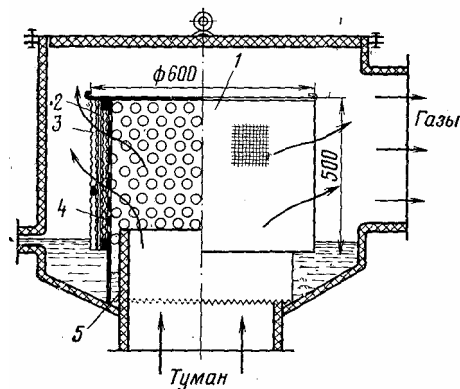


Рис.3.6- Волокнистые туманоуловители:

- 1) цилиндрический фильтрующий элемент; 2) фильтрующий войлок;
- 3) брызгоуловитель; 4) патрубок.

При наличии брызгоуноса из слоя, что наблюдается при скорости 1,7-2,5 м/с, необходимо устанавливать за фильтрами сетчатые пакеты-брызгоуловители, набираемые из четырех плоских и трех гофрированных перфорированных винипластовых листов, чередующихся между собой.

Полипропиленовые фильтры применяются для улавливания тумана на операции упарки гидролизной серной кислоты в производстве пигментной двуокиси титана, а также для санитарной и технологической очистки туманов термической фосфорной кислоты.

Разработаны различные типоразмеры аппаратов с площадью фильтрации от 0,55 до 1,5 м², что соответствуют производительности от 1500 до 30000 м³/ч при скорости фильтрации от 1 до 5 м/с, номинальная производительность 10300 до 22100 м³/ч.

Двухступенчатые волокнистые туманоуловители

Известны два основных типа двухступенчатых волокнистых туманоуловителей, различающихся между собой по тем функциям, которые

выполняют в них первая и вторая ступень. В первом типе установок главный фильтр предназначен для улавливания крупных частиц и снижения концентрации тумана, а в некоторых установках для одновременного задержания твердых взвешенных примесей, загрязняющих туман. Во втором типе установок первая ступень служит агломератом, в котором осаждаются частицы всех размеров, а уловленная жидкость выносится потоком газов в виде крупных капель, поступающих во второй фильтр – брызгоуловитель. Как правило, обе ступени располагаются в одном корпусе, а главный фильтр работает при высокой скорости фильтрации.

3.3. Воздушные фильтры

Служат для обеспыливания воздуха, забираемого из атмосферы в системы: приточной вентиляции, кондиционирования воздуха, воздушного отопления производственных, служебных, общественных зданий, для подачи воздуха для технологических нужд.

Классификация воздушных фильтров представлена в табл.3.1.

Таблица 3.1 – Классификация воздушных фильтров

Класс фильтров	Размер улавливаемых частиц, мкм	Эффективность очистки, % не менее
III	10	60
II	1	85
I	1	99

Для определения эксплуатационных характеристик фильтров в зарубежной практике используют следующие стандарты:

- европейский стандарт EUROVENT 4/5 Европейского комитета производителя вентиляционного и пневматического оборудования;
- стандарт США ASHRAE 52-76 Американского общества инженеров по отоплению, холодильной техники и кондиционирования воздуха;

- стандарт Великобритании DS 6540 (для фильтров особенно грубой и тонкой очистки);
- стандарт Великобритании DS 3928 (для фильтров особенно тонкой очистки);
- стандарт России EN 779 для фильтров до девятого класса (предварительная очистка);
- стандарт России EN 1882 для фильтров особенно тонкой очистки.

Воздушные фильтры III класса

Улавливание в таких воздушных фильтрах происходит за счет инерционного осаждения.

Для того чтобы сухие частицы после осаждения при высокой скорости потока (1,3-1,5 м/с) не выносились из фильтра, его фильтрующие перегородки промасливают (одновременно защищая тем самым от коррозии). Такие фильтры часто называют масляными или висциновыми.

Эффективность улавливания крупных частиц и пылеемкость фильтров зависят от качества промасливания и свойств масла.

Большое распространение данного класса получили сетчатые фильтры (улавливание частиц более 5 мкм), (рис 3.7).

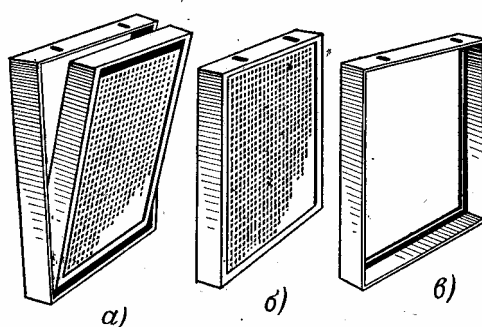


Рис. 3.7 - Ячейка ФяР:

- а) ячейка не закрепленная в установочной раме;
 б) ячейка, закрепленная в установочной раме; в) установочная рама.

Ячейка ФЯР представляет собой металлическую снаряженную сетками коробку закрепленную с помощью защелок, (рис 3.7).

Эффективность таких фильтров составляет 40-60 %.

Кроме кассет с гофрированными сетками применяют кассеты, снаряженные слоями, состоящими из перфорированных металлических и виниловых листов. Существуют кассетные фильтры из стеклянных и синтетических стекловолокон. Такие фильтры используются в небольших кондиционерах.

Существуют самоочищающиеся автоматические фильтры. Для обеспечения их непрерывного действия и упрощения обслуживания, особенно при больших расходах воздуха с концентрацией пыли до 10 мг/м^3 .

Самоочищающиеся масляные фильтры состоят из непрерывно движущегося в вертикальной плоскости фильтрующей бесконечной панели и масляной ванны (рис.3.8). При прохождении через ванну загрязненные участки панели отмываются от пыли и вновь промасливаются, а пыль оседает на дне ванны в виде шлама. Скорость потока воздуха не должна превышать 3 м/с.

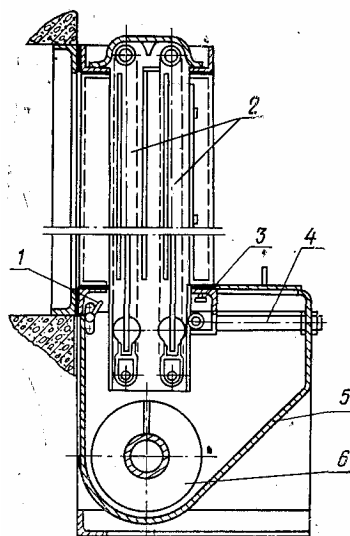


Рис. 3.8 - Фильтр масляный самоочищающийся:

- 1) механизм промывки сеток; 2) сетки; 3) маслосъемники;
- 4) система подогрева масла; 5) бак; 6) шнек.

Воздушные фильтры II класса

Применяются двухзонные электрофильтры, волокнистые фильтры, в которых используются складчатые и гофрированные сухие материалы из тонких синтетических или стеклянных волокон. К ним относят: фильтры ячейковые карманные F6; фильтр ячейковый плоский, класса очистки G2; фильтр ячейковый складчатый класса H 10.

Скорость фильтрации от 0,05 до 0,25 м/с. Срок службы ячеек в городе от 1-3 мес.

Воздушные фильтры I класса

Фильтры, относящиеся к данному классу, используют где необходимы стерильные условия коэффициент проскока не более 0,003 %. В этом случае концентрация микроорганизмов в выходящем из фильтров воздухе приближается к нулю. К I классу, например, относят фильтр ЛАИК; high efficiency particulate ir filters (HEPA), фильтр ячейковый плоский класса очистки G3,4, фильтр ячейковый складчатый класса F7, F8, F9, H 11, H 12, H 13, H14, фильтры ячейковые карманные F7, F8.

Фильтры HEPA имеют сепаративную конструкцию. Фильтрующий материал на основе ультра и микротонких стеклянных волокон диаметром 0,25 ...0,4 мкм. Материал корпуса и сепараторов - алюминиевый сплав. Герметизирующий материал полиуритановый или кремниевый органический герметик.

Фильтры ячейковые складчатые удерживают все виды пылей минерального или органического происхождения, жидкие аэрозоли и туманы, бактерии и вирусы, дымы (в том числе табачный), радионуклиды. Состоит из фильтрующего пакета надежно загерметизированного по периметру в корпусе. Фильтрующий материал в пакете уложен складками, между которыми положены сепараторы. Сепараторы образуют каналы для входа и выхода воздуха.

Фильтры ячейковые плоские удерживают волокна и крупнозернистые твердые или жидкие частицы аэрозолей различного происхождения волосы пыльцу, атмосферную, угольную, цементную пыли; сажу муку, пары масел и жиров; туман, сварочные аэрозоли и т.д.

Фильтры ячейковые карманные F7, F8 удерживают пыльцу, основную массу всех видов пылей, угольный и нефтяной дым частично табачный дым и бактерии, радионуклиды частично (F8).

В фильтрах тонкой очистки также применяют активированный уголь. Такие фильтры конструктивно представляют собой набор кассет, которые могут быть собраны в панели. Уголь в фильтрах может находиться в виде угольных таблеток и быть зернистым – измельченным. Патроны представляют собой два цилиндра разных диаметров, выполненные из оцинкованной листовой стали. Оба цилиндра соединены общим листовым основанием. Полость, образованная между цилиндрами, заполнена уплотненным на вибрационном стенде углем. Фильтрующий воздух проходит через перфорацию и слой угля. Обычно активированный уголь применяется при рабочих температурах до 40° С и с относительной влажностью 70 %. Такие фильтры поглощают также газообразные пахучие вещества.

Фильтры с активированным углем и специальной пропиткой применяются в системах вентиляции кондиционирования воздуха для поглощения газов и паров токсичных веществ, которые не улавливаются другими типами фильтров.

Для фильтров особо тонкой очистки могут применяться в качестве фильтрующего материала склеенное стекловолокно, клееная бумага из субмикронных волокон, иногда с гидропокрытием.

Фильтры особо тонкой очистки, как правило, устанавливают непосредственно перед воздухораспределителем, а при использовании в вытяжной вентиляционной системе – сразу за вытяжной решеткой.

Карманные фильтры требуют установки специальных камер обслуживания до или после фильтра.

Самоочищающийся механический фильтр «НМСФ/SP»

Воздушный фильтр предназначен для механической очистки воздуха от сухих частиц различных видов дыма и пыли, а также от частиц т.п. вредных веществ, размером до 0,05 микрона. Воздушный фильтр эксплуатируется в помещении. Температура перемещаемого воздушного потока не должна превышать +70 град С. Очищаемый воздушный поток не должен содержать взрывоопасных смесей.

Поступающий поток загрязненного воздуха поступает через входной патрубок, расположенный снизу корпуса фильтра, пропускается через префильтр (промывной) и затем равномерно проходит сквозь фильтр тонкой очистки (сменный), который улавливает частицы загрязнения размером до 0,05 микрона. В результате очищенный воздух, проходя через выходную камеру и вентилятор, выбрасывается наружу сбоку фильтра.

Очистка фильтрующей кассеты происходит, путем подачи короткого импульса сжатого воздуха через клапан в её внутреннюю полость, где поток сжатого воздуха равномерно распределяется при помощи специального стабилизатора. В результате такого импульса происходит встряска фильтрующей кассеты, при которой осевшие на её поверхность частицы падают в пылесборник. Очистка фильтрующей кассеты может производиться автоматически при работающем или неработающем вентиляторе, а также вручную при выключенном фильтре. Управление работой фильтра и процессом самоочистки происходит через внешний блок управления. Корпус фильтра изготавливается из листовой стали и окрашивается высококачественной порошковой краской, которая обеспечивает высокую защиту корпуса от воздействий окружающей среды. Внутри корпус фильтра делится на две камеры - входную, в которой вертикально располагается фильтрующая кассета, и выходную, в которой расположен вентилятор. Снизу корпуса фильтра под входной камерой располагается пылесборник.

Фильтр предназначен для настенной установки.

Технические характеристики фильтр «НМСФ/SP»

Модель	Мощность вентилятора, (кВт)	Макс. расход воздуха, (куб.м/ч)	Активная фильтрующая поверхность, (кв.м)	Вес, (кг)
НМСФ/SP	1,1	1200	15	200

Эффективность очистки фильтра > 92%. Уровень шума не более 70 Дб (А).

Максимальное значение давления сжатого воздуха 5 Атм.

Расход сжатого воздуха 200 л/мин свободного воздуха. Диаметр входного патрубка 160 мм. Габаритные размеры фильтра 1300х650х610 мм.

Самоочищающийся механический фильтр «S-1»

Воздушный фильтр предназначен для механической очистки воздуха от сухих частиц различных видов дыма и пыли, а также от частиц т.п. вредных веществ, размером до 0,05 микрона. Воздушный фильтр эксплуатируется в помещении в составе систем вытяжной вентиляции и очистки воздуха. Температура перемещаемого воздушного потока не должна превышать +90 град С. Очищаемый воздушный поток не должен содержать взрывоопасных смесей.

Управление работой фильтра и процессом самоочистки происходит через внешний сенсорный пульт управления.

Корпус фильтра изготавливается из листовой стали и окрашивается высококачественной порошковой краской, которая обеспечивает высокую защиту корпуса от воздействий окружающей среды. Внутри корпус фильтра делится на две камеры - входную, в которой горизонтально располагается фильтрующая кассета с защитным щитком и выходную, в которой расположена

система самоочистки. Сверху корпуса фильтра над входной камерой располагается входной патрубок. Снизу корпуса фильтра под входной камерой располагается накопительный бункер, соединяемый с пылесборником. Вытяжной вентилятор или воздуховод крепится к монтажному фланцу, который можно расположить спереди или с боку выходной камеры. Корпус фильтра снабжен монтажными кронштейнами для подвешивания. Для напольной установки необходимо дополнительно заказать комплект монтажных опор.

Дополнительная комплектация - влажомаслоотделитель с регулятором давления сжатого воздуха и манометром «CAR».

Технические характеристики

Модель	Рекомендуемый вентилятор	Макс. расход воздуха, (куб.м/ч)	Активная фильтрующая поверхность, (кв.м)	Вес, (кг)
S-1	FUA-3000/SP	1400	20	103

Эффективность очистки до 99,9%.

Максимальное значение давления сжатого воздуха 5 Атм.

Расход сжатого воздуха 50 л свободного воздуха на импульс (10 л сжатого воздуха).

Механический фильтр «MW»

Воздушный фильтр предназначен для механической очистки воздуха от частиц различных видов маслосодержащих выделений, аэрозоля и пыли, а также от частиц т.п. вредных веществ, размером до 0,1 микрона. Воздушный фильтр эксплуатируется в помещении в составе систем вытяжной вентиляции и очистки воздуха. Температура перемещаемого воздушного потока не должна превышать +90 град С. Очищаемый воздушный поток не должен содержать взрывоопасных смесей. Фильтры не предназначены для очистки воздуха от масел с высокой вязкостью. Фильтры идеальны для очистки воздуха при

процессах шлифовки, для очистки от СОЖ содержащих металлические частицы, для очистки от аэрозоля с менее, чем 5% содержанием масла, для очистки от масел с температурой возгорания не ниже 150 град С.

Загрязненный воздух подводится к входному патрубку снизу корпуса фильтра по воздуховоду или при помощи специальных маслостойких шлангов или фильтр монтируется непосредственно на тех. оборудование (станок).

В результате очищенный воздух выходит сверху корпуса фильтра. Корпус фильтра изготавливается из листовой стали и окрашивается высококачественной порошковой краской, которая обеспечивает высокую защиту корпуса от воздействий окружающей среды. В герметичном корпусе фильтра располагаются фильтрующие элементы. Снизу корпуса фильтра располагается входной патрубок, позволяющий подключить к фильтру вентиляционное оборудование. Сверху корпуса фильтра находится выходной патрубок, позволяющий подключить воздуховод к фильтру. Кроме того, сверху корпуса фильтра при помощи специального монтажного комплекта можно установить индивидуальный вытяжной вентилятор.

Для удобства эксплуатации фильтр оборудован блоком датчиков и стрелочным индикатором, которые позволяют контролировать давление в фильтре (степень загрязненности фильтра).

Для крепления фильтра к горизонтальным поверхностям необходимо дополнительно заказать монтажную подставку. Для подвесного крепления можно дополнительно заказать комплект монтажных кронштейнов и опорную балку.

Основные узлы и комплектующие фильтра: самоочищающаяся центрифуга «**AquaSpin**»; защитный чехол «**WRAP-2**», полиэстер, промывной; Мембранный фильтр тонкой очистки «**CART-2-OLE**», полиэстер, сменный, S=10 кв.м.

Техническая характеристика механического фильтра «MW»

Модель	Вентилятор			Рекоменд. расход воздуха, (куб.м/ч)	Макс. потеря давления, (Па)	Активная фильтр. поверхность, (кв.м)	Вес, (кг)
	Модель	Мощность, (кВт)	Частота, (об/мин)				
MW-2	-			1000	500	10	14

Эффективность очистки фильтра > 95%.

3.4. Тканевые фильтры

Осаждение частиц пыли в тканевых фильтрах начальный период работы фильтра происходит на волокнах, расположенных на поверхности нитей, а также в ворсе. В последующем наблюдается процесс осаждения частиц, в результате чего образуется сплошной слой пыли, который сам становится «вторичной» фильтрующей средой и эффективность очистки резко возрастает

В тканевых фильтрах применяют фильтрующий материал двух типов: обычные ткани и войлоки (получаемые путем свойлачивания или механического перепутывания волокон иглопробивным способом)

Фильтрующие ткани (виды):

1. Хлопчатобумажные ткани (имеют низкую термостойкость, горючесть, высокую влагоемкость);
2. Шерстяные ткани (для них характерна высокая воздухопроницаемость, низкая стойкость к кислым газам, при длительном воздействии температуры более 110° С волокна становятся хрупкими);
3. Нитроновые ткани (большая механическая прочность, выдерживают высокие температуры до 180° С);
4. Лавсановые ткани (прочность таких тканей падает при щелочной среде, чувствительны к колебаниям температур);

5. Стеклоткани (очень стойкие к температурам 150-250° С).

Классификация тканевых фильтров:

1. по форме тканевых фильтровальных элементов (рукавные, плоские, клиновые и др.) и наличию в них опорных устройств для ткани (каркасные фильтры);
2. по месту расположения вентилятора относительно фильтра (всасывающие, работающие под разрежением и нагнетательные, работающие под давлением);
3. по способу регенерации ткани (встряхиваемые, с обратной продувкой, с вибро- встряхиванием, с импульсной продувкой и др. рис. 3.9.);
4. наличием и форме корпуса для размещения ткани: прямоугольные, цилиндрические, открытые (бескамерные);
5. по числу секций в установке (например, стеклотканевые).

В тканевых фильтрах целесообразно использовать небольшие нагрузки по газу в пределах от 0,3 до 1,2 м³/ (м² мин). При больших скоростях происходит чрезмерное уплотнение пылевого слоя, сопровождающееся резким увеличением аэродинамического сопротивления. При повышенных нагрузках по газу наблюдается нарушение первоначально сформированного пылевого слоя, сопровождающееся вторичным уносом пыли, особенно из отверстий между отдельными нитями. Кроме того, при высокой скорости фильтрации требуется слишком часто проводить регенерацию, ускоряющую износ тканей и механизмов.

К тканям, используемым в качестве фильтрующих материалов, предъявляют следующие требования:

- 1) высокая пылеемкость в процессе фильтрации и способность удерживать после регенерации такое количество, которое достаточно для обеспечения высокой эффективности очистки газов от тонкодисперстных частиц;

2) сохранение оптимально высокой воздухопроницаемости в равновесно запыленном состоянии;

3) высокая механическая прочность и стойкость к истиранию при многократных изгибах, стабильность размеров и свойств при повышенной температуре и агрессивном воздействии химических примесей, находящихся с сухих и насыщенных влагой газов;

4) минимальное влагопоглощение и способность к легкому удалению накопленной пыли;

5) низкая стоимость.

Способы регенерации тканевых фильтров

Существует два основных способа регенерации запыленных тканей:

1) встряхивание фильтрующих элементов (механическое, аэродинамическое, путем пульсации или резких изменений направления фильтруемого потока газов, воздействие звуковых колебаний и т.п.)

2) обратная продувка фильтрующих элементов очищенными газами или воздухом (нагнетание в секцию газов с низким давлением при большом расходе, подсос атмосферного воздуха, струйная локальная продувка каждого рукава или плоского элемента и др.).

На рис 3.9 приведены основные способы встряхивания рукава.

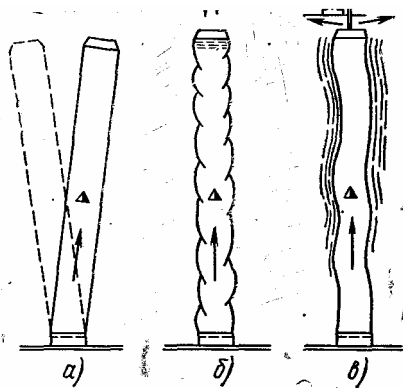


Рис. 3.9 - Способы встряхивания рукава:

а) встряхивание в горизонтальном направлении; б) ослабление и натяжение рукава в вертикальном направлении; в) вибрация.

В большинстве фильтров сочетаются оба способа регенерации.

Наиболее эффективно механическое встряхивание рукавов в продольном направлении, но при этом сильно изнашиваются рукава, особенно в нижней части. Встряхивание должно быть кратковременным и резким, но не настолько сильным, чтобы вызвать большие механические усилия в ткани.

Операция встряхивания рукавов в продольном направлении заключается в поднятии штанги подвеса на 7-10 см и последующем свободном падении ее с этой высоты вместе с рукавами на подушки, которые амортизируют удар. Подъем и сброс рукавов повторяется 5-15 раз в зависимости от свойств пыли.

Данный способ регенерации в сочетании с обратной продувкой весьма эффективен и применяется для тяжелых ворсовых тканей. Колебания рукавов в поперечном направлении чаще используются для тонких тканей с гладкой поверхностью.

Аэродинамическое встряхивание может осуществляться путем подачи импульса сжатого воздуха внутрь каждого фильтрующего элемента. Такой вид регенерации используется в каркасных рукавных и плоских фильтрах. Избыточное давление при регенерации составляет от 0,4 до 0,8 МПа, длительность импульса от 0,1 до 0,2 с, необходимая частота импульсов зависит от характера изменения аэродинамического сопротивления фильтра.

В фильтрах с аэродинамическим встряхиванием рукавов возможно увеличение нагрузки по газу до 2,5 м³/мин, а также температуры газов до 250 °С.

Очистка ткани прерывистым обратным потоком очищенных газов достигается при использовании отдельного продувочного вентилятора.

Обратная струйная продувка заключается в том, что вдоль рукава вверх и вниз движется полое кольцо, через которое происходит истечение радиальной высокоскоростной струи сжатого воздуха, выдувающей вдоль в направлении, обратной фильтрации. Разрушение слоя пыли является результатом одновременной деформации кольцами фильтрующего материала и выдувания частиц струей, истекающей со скоростью 10-30 м/с.

3.5. Рукавный фильтр (тканевый)

Рукавный фильтр предназначен для очистки воздуха от сухой минеральной, а также слипающейся пыли (мучной, цементной и т.д.) и рассчитаны на работу под разряжение, рис 3.10. Запыленные газы подводятся через патрубки, расположенные в бункерных частях секций, а очищенные отводятся через патрубки, расположенные на крыше фильтра; в патрубках установлены дроссельные клапаны для включения и отключения газов и продувочного воздуха, управляемые рычажно-кулачковым механизмов.

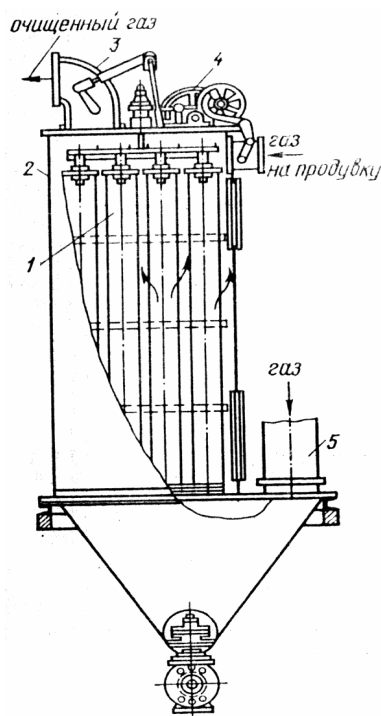


Рис.3.10 - Рукавный фильтр:

- 1) рукава; 2) корпус; 3) выходной патрубок;
4) регенерирующее устройство; 5) входной патрубок.

Расшифровка фильтра рукавного типа ФВ – фильтр всасывающий.

Регенерация рукавов производится посекционно через каждые 3,5 мин и продолжается 30 с.

Для обеспыливания промышленных газов и аспирационного воздуха на предприятиях цветной металлургии применяют многосекционные рукавные

фильтры. Они могут работать под избыточным давлением или под разряжением.

Нормальный расход воздуха на продувку рукавов таких фильтров составляет 10-15 % производительности установки.

Известны и другие фильтры с механическим встряхиванием и обратной продувкой, различающиеся конструкцией отдельных узлов в зависимости от назначения фильтров. Например: рукавные фильтры всасывающие марки, рукавные высоковакуумные фильтры марки, укрупненные рукавные фильтры, всасывающие фильтры, фильтры рукавные унифицированные, фильтры рукавные из стеклоткани.

Регенерация ткани осуществляется при одновременном встряхивании и обратной продувки.

Наиболее распространены ФР с поверхностью фильтрации 2800 и 3700 м² каждый фильтр соответственно имеет 6 или 8 секций.

Основные технические характеристики: производительность фильтра, удельная нагрузка на фильтрующую ткань, количество секций, количество рукавов размеры рукавов, фильтрующая поверхность, температура смеси на входе в фильтр, габариты фильтра.

3.6. Зернистые фильтры

В зернистых фильтрах фильтрующие слои, состоящие из зерен сферической или другой формы, применяются для очистки газов реже чем волокнистые материалы.

Преимуществом таких фильтров является: малая стоимость и доступность материалов, возможность работать при очень высоких температурах и в условиях агрессивной среды, выдерживает большие механические нагрузки и перепады давления, а также резкие изменения температуры.

Различают типы зернистых фильтров: зернистые насадочные (насыпные) фильтры, в которых улавливающие элементы (гранулы, куски, кольца Рашига и

т.д.) не связаны жестко друг с другом. К этим фильтрам относятся: статические (неподвижные) слоевые фильтры; динамические (подвижные) слоевые фильтры с гравитационным перемещением сыпучей среды; псевдосжиженные слои; жесткие пористые фильтры, в которых зерна прочно связаны друг с другом в результате спекания, прессования или склеивания и образуют прочную неподвижную систему. К этим фильтрам относятся: пористая керамика; пористые металлы; пористые пластмассы.

Зернистые насыпные фильтры

В качестве насадки в насыпных фильтрах используют песок, гальку, шлак, дробленые горные породы, древесные опилки, кокс, крошку резины, пластмассы, графита и т.д. Стандартный материал кольца Рашига, седла Берля, сферы и т.п.

Выбор материала обуславливается требуемой термической и химической стойкостью. Размер зерен чаще всего составляет 0,2-2 мм. Высота слоя на сетках выбирается в пределах от 10- 15 см.

Глубокие зернистые фильтры используются, например, для стерилизации воздуха при аэробной ферментации в производстве пенициллина.

Максимальный эффект фильтрации достигается при улавливании конденсационных аэрозолей, частицы которых интенсивно коагулируют в слое. При возрастании сопротивления до предела, допускаемого вентилятором, производят рыхление слоя гребенковым механизмом.

Используются для стерилизации воздуха при аэробной ферментации в производстве пенициллина.

Фильтры с движущейся средой

Для создания фильтров с движущейся средой и периодическим или непрерывным удалением из установки на регенерацию слоя зерен, забитого пылью используется свойство сыпучести зернистых материалов.

Обычно материал перемещается между сетками или жалюзийными решетками под действием гравитационных сил.

Регенерация выгруженного материала от уловленной пыли проводится в отдельном аппарате путем грохочения или промывкой в восходящем потоке воды зерен, находящихся в псевдосжиженном состоянии.

Зернистые жесткие фильтры

Зернистые жесткие фильтры представляют собой керамические (поролитовые), металлопористые (металлокерамические) и другие жесткие пористые перегородки.

Однако такие фильтры имеют существенные недостатки по сравнению с тканевыми из-за высокой стоимости, большого гидравлического сопротивления и трудностей осуществления длительных регенераций, что существенно снижает их срок службы.

Жесткие пористые элементы могут регенерироваться следующими методами:

- 1) продуванием воздуха или газа в направлении, противоположном рабочему потоку;
- 2) пропусканием жидких растворов в обратном движении газов направлении, иногда при одновременном воздействии на жидкость ультразвуком;
- 3) пропусканием горячего пара (при забивании фильтров парафином) или струи горячих газов для выжигания смолистых примесей;
- 4) простукиванием или вибрацией трубной решетки с элементами, устанавливаемой на эластичном уплотнении, или самих элементов, закрепленных на перегородке с помощью резиновых патрубков.

Жесткие пористые фильтры редко применяют в системах очистки воздуха или газов большой производительности, так как сопротивление их велико и

необходимо работать при низкой скорости фильтрации. Чаще всего такие фильтры применяют для фильтрации сжатых газов, когда требуется выдерживать высокий перепад давлений, а также при температурах от 300 - 500°C.

Жесткие пористые фильтры применяют и для очистки небольших объемов газов, при этом элементы фильтров устанавливают в отдельных корпусах или технологических аппаратах.

Керамические фильтры

Такие фильтры состоят из керамических патронов, пластин или дисков, получают путем спекания отсортированных зерен шамота, кварцевого песка, асбеста и других природных минералов до стекловидного состояния.

Керамические пористые изделия хрупки; для увеличения их прочности стенки патронов изготавливаются значительной толщины (6-10 мм, иногда и больше), но при этом увеличивается их гидравлическое сопротивление. Длина патронов обычно составляет от 0,5 до 1,2 м, диаметр – от 50-80 мм; общая пористость от 50-80%.

Скорость фильтрации в зависимости от вида керамики, концентрации и свойств пыли, а также от располагаемого давления в системе составляет от 0,01 до 0,5 м/с.

Керамические фильтры применяются для очистки технологических газов внутри аппаратов (газов, крекинга, аммиака в производстве азотной кислоты и других газокаталитических процессов); в системах газоснабжения (для очистки природных или синтетических газов); для очистки сжатого воздуха, применяемого при окраске методом распыления; для обеспыливания сжатых газов (хлора, двуокиси углерода).

Металлокерамические фильтры

Исходным материалом для изготовления служат металлические порошки шарообразной формы с гладкой поверхностью или порошки несферической

формы с шероховатой поверхностью; в последнем случае механическая прочность материалов выше.

Металлокерамические фильтрующие материалы получают методом прессования или прокаткой с последующим спеканием при высокой температуре (800-1300°C) в виде цилиндрических элементов высотой 80-100 мм с толщиной стенок 2-5 мм; трубок разного диаметра; лент шириной 300-400 мм и листов больших размеров толщиной от 0,35 до 2,5 мм.

Металлокерамические цилиндрические элементы (МКЭ) соединяют в длинные трубки-сборки аргонодуговой или диффузионной сваркой, а также методом спекания. МКЭ более прочные и пластичны, чем керамические фильтры, и лучше сопротивляются ударным нагрузкам. Однако их стоимость в 10 раз и более выше чем керамических. Кроме того, их можно сваривать паять, склеивать, подвергать механической обработке на станках.

Регенерацию фильтров осуществляют обратной продувкой или импульсами сжатого воздуха или газа с давлением от 0,6 до 1 МПа с длительностью от 0,1 до 09,5 с.

Металлокерамические фильтры наиболее широко применяются для выделения из горячих газовых потоков ценных пылевидных продуктов, например пылевидных катализаторов. Также используются в энергетических ядерных реакторах для очистки CO₂, служащего теплоносителем, в контурах рециркуляции и в системах продувки и аварийного сброса газа в атмосферу.

3.7. Электрофильтры

Электростатическая очистка газов служит универсальным средством, пригодным для любых аэрозолей, включая туманы кислот, и при любых размерах частиц. Метод основан на ионизации и заряде частиц аэрозоля при прохождении газа через электрическое поле высокого напряжения, создаваемое коронирующими электродами. Осаждение частиц происходит на заземленных осадительных электродах.

Промышленные электрофильтры (4.11) состоят из ряда заземленных пластин или труб, через которые пропускается очищаемый газ. Между осадительными электродами подвешены проволочные коронирующие электроды, к которым подводится напряжение 25–100 кВ. Очистка осложнена прилипанием частиц к электроду, аномальным (пониженным) сопротивлением слоя пыли на электродах и др.

Таким образом, процесс электрогазоочистки можно разделить на следующие стадии: зарядка взвешенных в газе частиц; движение заряженных частиц к электродам; осаждение частиц на электродах; удаление осажденных частиц с электродов.

При очистке от пыли сухих газов электрофильтры могут работать в широком диапазоне температур (от 20 до 500 °С) и давлений. Их гидравлическое сопротивление невелико – 100-150 Па. Степень очистки от аэрозолей – выше 90, достигает 99,9 % на многопольных электрофильтрах при $d > 1$ мкм. Схема электрофильтра приведена на рисунке 3.11.

Недостаток этого метода – большие затраты средств на сооружение (металлоемки, занимают большую площадь) и содержание очистных установок и значительный расход энергии на создание электрического поля.

Преимущественной областью применения электрофильтров с точки зрения экономической целесообразности является очистка больших объемов газа, отходящих от современных агрегатов большой мощности, например от мощных котельных агрегатов, для которых разработаны электрофильтры единичной производительностью по газу свыше 1000000 м³/ч.

В ряде случаев электрофильтры не могут быть применены в связи с тем, что свойства газопылевого потока весьма не благоприятны для осуществления процесса электрогазоочистки. Это относится, например, к таким случаям, когда удельное электрическое сопротивление пыли чрезмерно велико. Электрофильтры не применяются, если очищаемый газ представляет собой взрывоопасную смесь или такая смесь может образовываться в ходе процесса в

результате отклонения от нормального технологического режима, так как при работе неизбежно возникает искровой разряд.

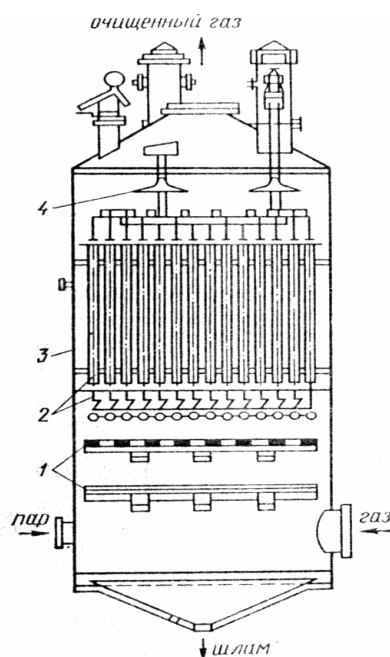


Рис. 3.11 – Электрофильтр типа С:

- 1) положительные электроды; 2) отрицательные электроды;
3, 4) пластины электродов.

Используют два вида электрофильтров: однозонные электрофильтры, в которых зарядка и осаждение частиц осуществляется в одной зоне, применяемые для очистки промышленных газов; двухзонные электрофильтры, в которых процессы зарядки и осаждения протекают в двух разных зонах – ионизаторе и осадителе, применяемые в основном для тонкой очистки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования.

По способу удаления осажденных на электродах частиц электрофильтры разделяют на сухие и мокрые.

В сухих электрофильтрах обычно улавливаются твердые частицы, которые удаляются с электродов встряхиванием. Очищаемый в сухом электрофильтре газ должен иметь температуру, превышающую точку росы, во избежание конденсации влаги, появление трудноудаляемых отложений на электродах и коррозию аппарата. В мокрых электрофильтрах могут улавливаться твердые частицы, смываемые с поверхности электродов

орошающей жидкостью (обычно вода). Температура газа, поступающего в мокрый электрофильтр, должна быть близкой к точке росы или равна ей. Кроме того, мокрые электрофильтры применяются для улавливания жидких частиц - тумана или капельной влаги из газового потока, причем специальные устройства для промывки могут отсутствовать, если жидкие частицы самостоятельно стекают с электродов по мере их накопления.

Основные разновидности осадительных электродов следующие: плоские электроды, желобчатые электроды, электроды открытого профиля.

Основные разновидности коронирующих электродов следующие: коронирующие электроды с нефиксированными точками разряда, с фиксированными точками разряда, коронирующий электрод БВК.

Встряхивание осадительных и коронирующих электродов сухих электрофильтров может производиться следующими способами: встряхивание соударением, ударно-молотковое встряхивание, ударно-импульсной системой, вибрационным механизмом.

Для удаления осажденных в мокрых электрофильтрах твердых частиц применяются периодическая и непрерывная промывка электродов.

Рассмотрим пример современного электрического фильтра

Электростатический фильтр «ЕФ»

Воздушный фильтр предназначен для электростатической очистки воздуха от сухих частиц различных видов дыма и пыли, а также от частиц т.п. вредных веществ, размером до 0,01 микрона.

Воздушный фильтр эксплуатируется в помещении в составе систем вытяжной вентиляции и очистки воздуха. Температура перемещаемого воздушного потока не должна превышать +80 град С. Очищаемый воздушный поток не должен содержать взрывоопасных смесей.

Система сигнализации фильтра сообщает о возникшей неисправности или необходимости очистки фильтра, а затем автоматически отключает фильтр для

проведения профилактических работ. Фильтры с такой системой более удобны в эксплуатации, особенно при интенсивном использовании.

Управление работой фильтра происходит через встроенный блок управления. Корпус фильтра изготавливается из листовой стали и окрашивается высококачественной порошковой краской, которая обеспечивает высокую защиту корпуса от воздействий окружающей среды. В герметичном корпусе фильтра располагаются фильтрующие элементы. Снизу корпуса фильтра располагается приемная камера, позволяющая подключить к фильтру вентиляционное оборудование. Сверху корпуса фильтра крепится монтажный фланец, позволяющий установить вентилятор или подключить воздуховод к фильтру. Корпус фильтра снабжен монтажными кронштейнами для подвесного крепления. Для напольной установки необходимо дополнительно заказать монтажную раму.

Основные узлы и комплектующие фильтра: префильтр «**FF-3000**», промывной; ионизационная ячейка «**IO-3000**», промывная; осадительная ячейка «**ЕС-3000**», промывная; приемная камера «**IS-3000**», два входа по бокам, два фланца, заглушка; Приемная камера «**IS-3200**», два входа снизу, два фланца, заглушка.

Технические характеристики

Модель	Рекоменд. вентилятор	Макс. расход воздуха, (куб.м/ч)	Макс. потеря давления, (Па)	Активная фильтрующая поверхность, (кв.м)	Вес, (кг)
EF-3002/AL	FUA-3000/SP FUA-4700/SP	2300 2800	600 650	16,4	89
EF-5002/AL	FUA-4700/SP FUA-6000/SP	4000 4800	650 700	32,8	139

Эффективность очистки фильтра > 92%.
Напряжение питания 3 фазы 380 В, частота сети 50 Гц.

3.8. Расчет фильтров

Выбор фильтров при проектировании должен основываться на соответствии эффективности фильтров требованиям к чистоте воздуха с учетом его начальной запыленности. Одновременно должны приниматься во внимание начальное сопротивление фильтра и изменение сопротивления при его запылении, конструктивные и эксплуатационные особенности фильтров.

По технико-экономическим соображениям аэродинамическое сопротивление фильтров не должна превышать 750-1500 Па, и только в особых случаях оно может составлять до 2-2,5 к Па. При более высоком значении аэродинамического сопротивления резко увеличивается коэффициент проскока частиц и возможен срыв рукавов или их разрушение по шву в результате аэродинамических ударов при переключении секций на регенерацию.

Выбор фильтра по эффективности рекомендуется производить согласно табл. 3.2.

Таблица. 3.2 - Характеристики загрязнения атмосферного воздуха

Степень загрязнения атмосферного воздуха	Характеристика местности	Среднесуточная концентрация пыли в атмосферном воздухе, мг/м ³
Чистый	Сельские местности и непромышленные поселки	До 0,15
Слабо загрязненный	Жилые районы промышленных городов	> 0,5
Сильно загрязненный	Индустриальные районы промышленных городов	>1
Чрезмерно загрязненный	Территории предприятий с большим пылевым выбросом	> 3 и более

При повышенной запыленности воздуха следует применять главным образом механизированные фильтры III класса. При очистке больших объемов воздуха (более 20 тыс. м³/час) и при запыленности 0,5 мг/м³ и более и при

повышенном содержании крупных фракций пыли (10 мкм и более) применяют масляные самоочищающиеся фильтры, если по условиям эксплуатации объекта допускается небольшое замасливание воздуха парами замасливателя и не является совершенно обязательным полное исключение выноса в систему мелкодисперсных капель замасливателя.

При очистке в тех же условиях меньших объемов воздуха (до 20 тыс. м³/час), в особенности при необходимости исключить только капельный вынос масла, применяют ячейковый масляные фильтры, если этому не препятствует трудоемкость обслуживания этих фильтров. Область применения масляных фильтров может быть расширена использованием нелетучих и непахнущих замасливателей.

При запыленности воздуха, достигающей 0,5 мг/м³, и при наличии технико-экономического обоснования до 1 мг/м³ для очистки больших объемов воздуха могут быть использованы смоченные рулонные волокнистые фильтры, а в случае небольших расходов воздуха - ячейковые фильтры с тем же фильтрующим материалом.

При запыленности менее 0,5 кг/м³ могут применяться указанные выше фильтры, а также все виды сухих фильтров III и II класса эффективности.

При запыленности воздуха менее 0,15 мг/м³ могут применяться все указанные фильтры, а также фильтры I класса эффективности.

Электрические фильтры могут применяться во всем диапазоне возможной начальной запыленности воздуха. При увеличении удельной воздушной нагрузки до 10 тыс. м³/ч м² их эффективность снижается до 80 % и электрофильтры могут использовать в качестве фильтров III класса.

Основная задача при расчете фильтров проверить расчетом достаточность их пылеемкости, иначе эксплуатация очистных устройств может усложниться.

Расчет фильтров производят в следующей последовательности.

Исходя из сопротивления фильтра, которое может быть допущено в проектируемой системе, и аэродинамической характеристики фильтра, выбранного в соответствии с требованиями к эффективности очистки, задаются

воздушной нагрузкой и определяют типоразмер фильтра и площадь фильтрующей поверхности. По начальному пылесодержанию и эффективности фильтра определяют количество пыли, улавливаемое фильтром в единицу времени; по пылевой характеристики определяют время работы фильтра, в течении которого будет использован перепад между принятыми начальными и допустимым сопротивлениями ячейковых и электрических фильтров, либо время, через которое должны меняться масло в ваннах самоочищающихся фильтров, катушки рулонных фильтров и т.п.

Необходимая площадь фильтрующей поверхности фильтра определяется по формуле

$$F\phi = \frac{L}{L_{y\phi}};$$

где L – количество воздуха, м³/час, которое очищает фильтр;

$L_{y\phi}$ – удельная воздушная нагрузка, м³/м² час.

Расчетное количество ячеек фильтра (n_p), например для типа ФЯР, принимая площадь поверхности одной ячейки (f) по техническим характеристикам фильтра, определяют по формуле

$$n_p = \frac{F\phi}{f}.$$

Берут установленное количество ячеек фильтра округливши до n_y .

Определяют количество пыли, которое будет улавливаться в фильтре по формуле

$$m_{po} = \frac{L \cdot q_n \cdot \eta}{n_y \cdot 100},$$

де q_n – начальная концентрация, г/м³;

η – степень очистки, %; 100- переводной коэффициент.

Определяют пылеемкость одной ячейки фильтра по формуле

$$\Pi_l = \Pi \cdot f,$$

где Π – пылеемкость фильтра, г/м², выбирают согласно номенклатуре характеристик фильтра.

Определяют время работы фильтра τ , час, до регенерации по формуле:

$$\tau = \frac{П_1}{m_{po}}$$

Формируют устанавливаемые соты для монтажа в них ячеей фильтра в приточной установки.

Контрольные вопросы

1. Что такое фильтрация?
2. Какая существует классификация воздушных фильтров?
3. Какими показателями характеризуется работа фильтра?
4. Какой принцип действия фильтров туманоуловителей?
5. Какие бывают зернистые фильтры, принцип их работы ?
6. Какой принцип работы электрофильтра?
7. Какая последовательность расчета фильтра?
8. Что используют в качестве насадки в насыпных фильтрах?
9. Какие характеристики загрязнения атмосферного воздуха существуют?
10. Какие недостатки электрических фильтров?

Содержательный модуль 4.

4. Аппараты мокрой очистки газов

4.1. Общие сведения

Процесс пыле- и золоулавливания в мокрых газоочистных аппаратах обычно сопровождается процессами абсорбции и охлаждения газов.

Поэтому многие газоочистные аппараты применяются не только для очистки газов от пыли и капель жидкости, но для очистки газообразных составляющих и в качестве теплообменных аппаратов.

Мокрые газоочистные аппараты находят большое применение для подготовки газов, поступающие в газоочистные аппараты других типов (например, электрофильтры, рукавные фильтры).

В качестве орошающей жидкости в мокрых газоочистных аппаратах используют воду; при совместном решении вопросов пылеулавливания и химической очистки газов выбор орошающей жидкости (абсорбента) обуславливается процессом абсорбции.

По способу действия мокрые аппараты разделяют на группы: 1) полые газопромыватели; 2) насадочные газопромыватели; 3) барботажные и пенные аппараты; 4) мокрые аппараты ударно-инерционного типа; 5) мокрые аппараты центробежного действия; 6) динамические газопромыватели (механические скрубберы, дезинтеграторы); 7) скоростные газопромыватели.

4.2. Полые газопромыватели

В полых газопромывателях запыленные газы пропускают через завесу запыленной жидкости. При этом частицы пыли захватываются каплями жидкости и осаждаются, а очищенные газы удаляются из аппарата.

Наиболее простым полым газопромывателем является *орошающий газопромыватель*, (рис 4.1).

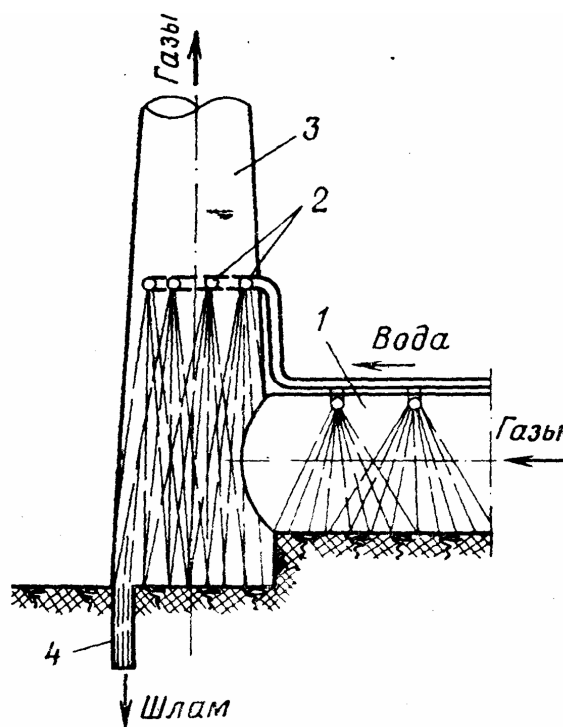


Рис.4.1 - Оросительное устройство:

1) газопровод; 2) форсунки; 3) дымовая труба; 4) шламовая труба.

Ряд форсунок или брызгал встраиваются в газопровод или дымовую трубу для создания на пути запыленного газового потока водяных завес. Во избежание значительного уноса брызг скорость газов в орошающем газопроводе следует принимать не более 3 м/с. В большинстве случаев после орошаемых газопроводов необходимо устанавливать каплеуловители и снабжать газопроводы дренажными устройствами для отвода оседающей жидкости.

Промывные камеры

Промывную камеру (рис 4.2) сооружают из металла, железобетона или кирпича. Внутри камеры в несколько рядов, чаще всего в шахматном порядке размещают распылители-форсунки для создания водяных завес на пути самоочищаемого газового потока. В конце промывной камеры устанавливают брызгоуловитель.

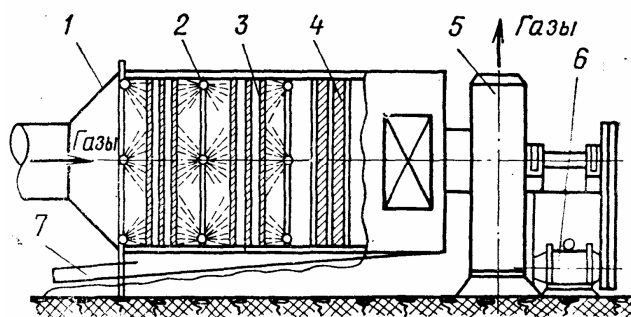


Рис.4.2 - Промывная камера:

- 1) корпус; 2) форсунки; 3) перфорированные перегородки; 4) брызгоуловитель;
5) вентилятор; 6) электродвигатель; 7) шламовая труба.

Скорость движения газов составляет от 1,5-2,5 м/с, время пребывания газов не менее 3 с. Расход воды на промывку составляет в пределах от 0,2 до 1,0 л/м³

Применяют для очистки от пыли и увлажнения воздуха в вентиляционных установках и установках кондиционирования воздуха.

Полые форсуночные скрубберы

Полые форсуночные скрубберы (рис 4.3) представляют собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой осуществляется контакт между очищаемыми газами и каплями жидкости, распыляемой форсунками.

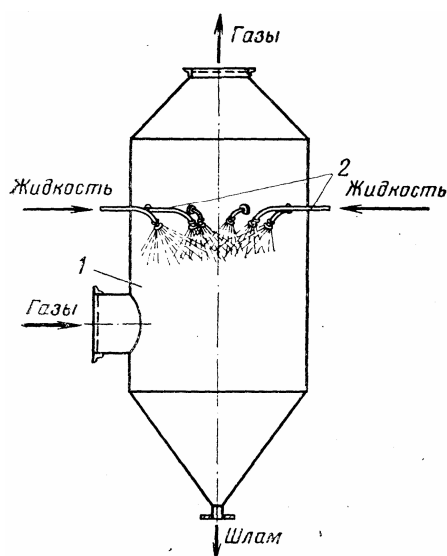


Рис. 4.3 - Полый скруббер:

- 1) корпус; 2) форсунки.

По направлению движения газов и жидкости полые скрубберы делятся на противоточные, прямоточные и с поперечным подводом жидкости. Обычно применяются аппараты с противонаправленным движением газов и жидкости и реже с поперечным подводом жидкости, в которых жидкость вводится под прямым углом к направлению газового потока.

В противоточном скруббере капли из форсунок падают навстречу запыленному потоку газов. Они должны быть достаточно большими, чтобы не быть унесенными газовым потоком, скорость которого обычно составляет от 0,6-1,2 м/с. При более высоких скоростях газов в аппарате после него необходима установка каплеуловителя.

4.3. Насадочные газопромыватели

Представляют собой колонны, заполненные телами различной формы рис.4.4. Насадки засыпают в колонну на опорную решетку в беспорядке или укладывают правильными рядами (регулярная насадка).

Применяются только при улавливании хорошо смачиваемой пыли, особенно в тех случаях, когда процесс улавливания пыли сопровождается охлаждением газов или абсорбцией.

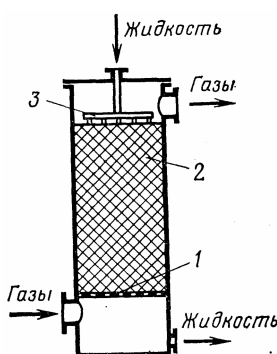


Рис. 4.4 - Противоточный насадочный скруббер:

1) опорная решетка; 2) насадка; 3) оросительное устройство.

4.4. Барботажные и пенные газоочистительные аппараты

В барботажных аппаратах (барбатерах) очищаемые газы проходят через слой жидкости в виде пузырьков, на поверхности которых и происходит осаждение частиц пыли, рис 4.5. Скорость свободного всплывания пузырьков в жидкости равна 0,25-0,35 м/с, а скорость газов в сечении обычного барботера не намного превышает скорость всплывания пузырьков.

Эффективны при улавливании частиц размером более 5 мкм.

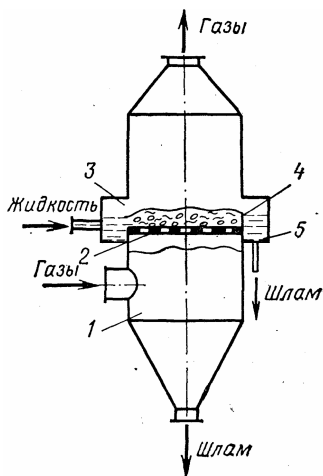


Рис.4.5 - Пенный пылеуловитель с переливной тарелкой:

1) корпус; 2) тарелка; 3) приемная камера; 4) порог; 5) сливная коробка.

Аппарат может работать со свободным сливом пены с помощью сливной перегородки (второй режим более предпочтителен).

В настоящее время наиболее широкое распространение получили аппараты с провальными тарелками (рис. 4.6.).

Аппарат с провальными тарелками в зависимости от линейной скорости газов может работать в трех гидродинамических режимах: барботажном, в котором газовые пузырьки с невысокой скоростью барботируют через слой жидкости на тарелку; пенном, при котором за счет роста скорости газов

жидкость на тарелке переходит в состояние турбулизированной пены; волновом, характеризующимся образованием газовых струй, колебанием слоя жидкости на тарелке, значительным ростом гидравлического сопротивления и интенсивным брызгоуносом.

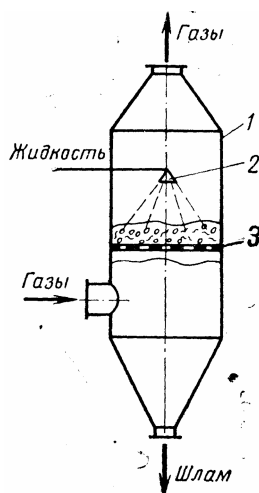


Рис. 4.6 - Мокрый пылеуловитель с промывной тарелкой:

- 1) корпус; 2) оросительное устройство;
- 3) тарелка (дырчатая или щелевидная).

4.5. Мокрые газоочистительные аппараты ударно-инерционного действия

Наиболее простой по конструкции пылеуловитель по конструкции пылеуловитель ударно-инерционного действия показан на рис. 4.7. и представляет собой вертикальную колонну, в нижней части которой находится слой жидкости. При повороте жидкости на 180° частицы осаждаются на поверхности воды, а очищенные газы направляются в выходной газопровод.

Мокрые газоочистные аппараты ударно-инерционного действия используются при улавливании частиц более 20 мкм. Шлам из аппарата может удаляться периодически или непрерывно через гидрозатвор.

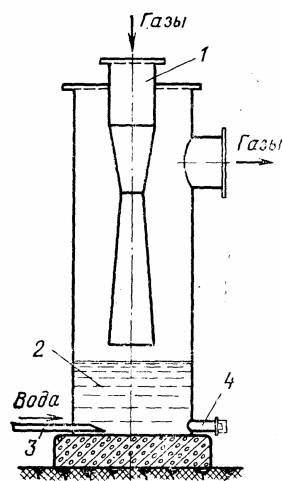


Рис. 4.7 - Аппарат ударно-инерционного действия:

- 1) входной патрубок; 2) резервуар жидкости; 3) смывное сопло;
- 4) труба для удаления шлама.

К такому типу аппаратов относят ротоклон, рис 4.8.

В аппарате установлены один или несколько изогнутых щелевых каналов, нижняя часть которых замочена жидкостью. Ударяясь о поверхность жидкости, газовый поток захватывает ее и движется вдоль нижней направляющей и при входе из щели падает в виде сплошной водяной завесы. Для предотвращения уноса капель после канала проходят через систему каплеотбойных устройств. Скорость газов в канале обычно не превышает 15 м/с.

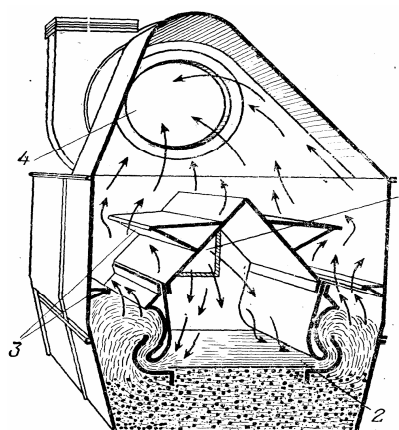


Рис. 4.8 – Ротоклон:

- 1) устройство для подвода газа; 2) направляющие лопатки;
- 3) каплеотбойники; 4) устройство для отвода газа.

Важное значение для нормальной эксплуатации ротоклона имеет поддержание постоянного уровня жидкости в аппарате, иначе незначительное изменение уровня жидкости может привести к резкому снижению эффективности и повышению гидравлического сопротивления.

4.6 Мокрые аппараты центробежного действия

Мокрые аппараты центробежного действия разделяют по конструктивному признаку на два вида: аппараты, в которых вращение газового потока осуществляется с помощью специальных направляющих лопаток (рис.4.9.а) , аппараты с тангенциальным подводом газов (4.9.б).

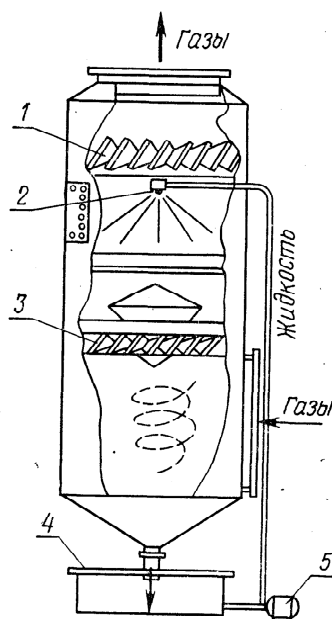


Рис.4.9 а - Центробежный скруббер с внутренним завихрителем:

- 1) раскручиватель; 2) ороситель;
- 3) завихритель; 4) емкость для жидкости;
- 5) насос.

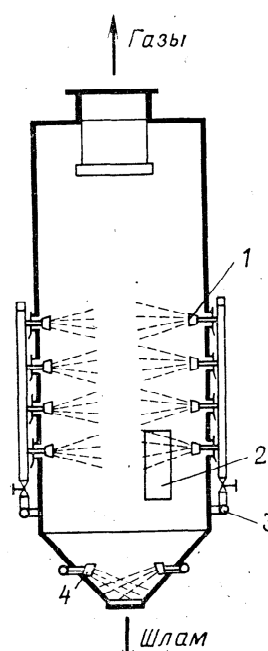


Рис.4.9.б-Центробежный скруббер с боковым расположением форсунок:

- 1) форсунки; 2) устройство для отвода газа
- 3) водяной коллектор; 4) форсунка.

Наибольшее распространение получили центробежные скрубберы с тангенциальным подводом газов.

К мокрым аппаратам центробежного действия также относят циклоны с водяной пленкой, которые используют для очистки запыленного вентиляционного воздуха и рекомендуется для любых видов не цементирующейся пыли. Подбор таких циклонов осуществляется по заданному расходу воздуха и допустимой величине гидравлического сопротивления. По площади входного отверстия в корпусе циклоны могут иметь два исполнения: основное и с вдвое уменьшенной площадью входа, путем установки во входном патрубке перегородки

4.7. Динамические газопромыватели

В динамических газопромывателях (4.10) очищаемые газы приводятся в соприкосновение с жидкостью раскручиваемой с помощью вращающегося тела (вала с лопатками, перфорированного барабана, дисков и др).

Наиболее эффективным аппаратом является дезинтегратор.

Дезинтегратор представляет собой мокрый пылеуловитель- вентилятор (внутри вращающегося ротора через сопла подается жидкость). Он состоит из статора и ротора, каждый из которых снабжен направляющими лопатками. Внутрь вращающегося ротора через сопла подается жидкость. Газовый поток, движущийся между кольцами ротора и статора со скоростью от 60 до 90 м/с, а также направляющие лопатки, обеспечивают интенсивное дробление жидкости на мелкие капли, что обуславливает хороший контакт газов и улавливающих частиц с жидкостью. Применяются для очистки доменного газа от пыли и генераторного газа от смолы и пыли.

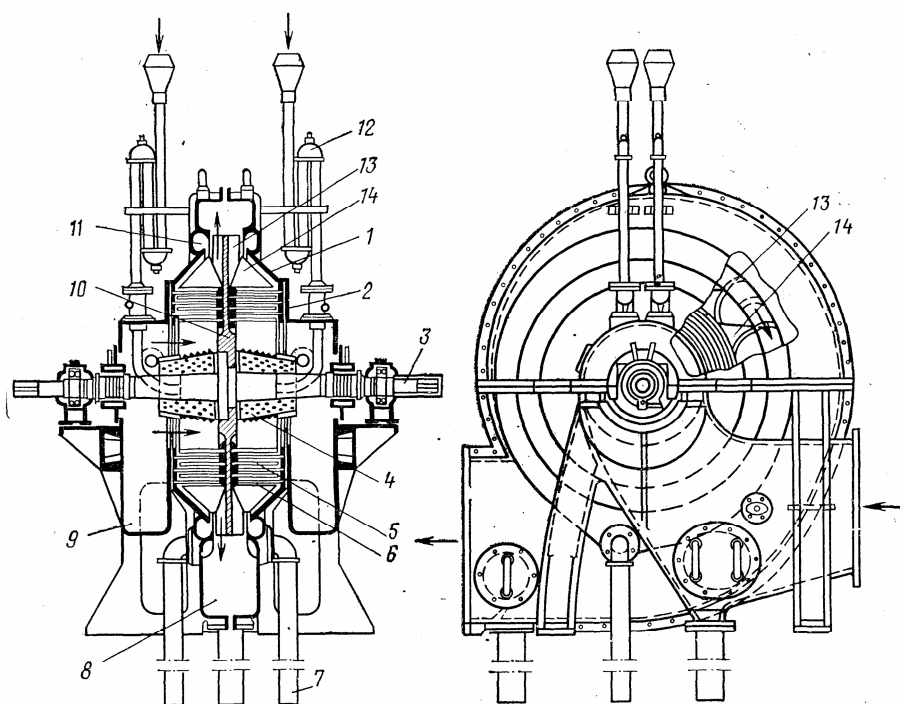


Рис.4.10 - Динамический газопромыватель:

- 1) улиткообразный кожух; 2) литые кольца в кожухе аппарата; 3) вал;
 4) распределительный конус; 5) стержни; 6) статор; 7) трубы; 8) канал в газоход; 9) приемные коробки; 10) окружности диска; 11) сливной канал;
 12) сифонные трубы; 13) лопасти; 14) лопатки.

4.8. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури)

Скрубберы Вентури (рис 4.11) наиболее эффективные аппараты мокрой очистки газов.

Принцип действия скруббера Вентури основан на интенсивном дроблении газовым потоком, движущимся с высокой скоростью (40-150 м/с) орошающей его жидкости, осаждение частиц на каплях орошающей жидкости способствуют высокие относительные скорости между ними.

Подразделяют на круглые и щелевые. Для малых расход применяют круглые, для больших щелевые.

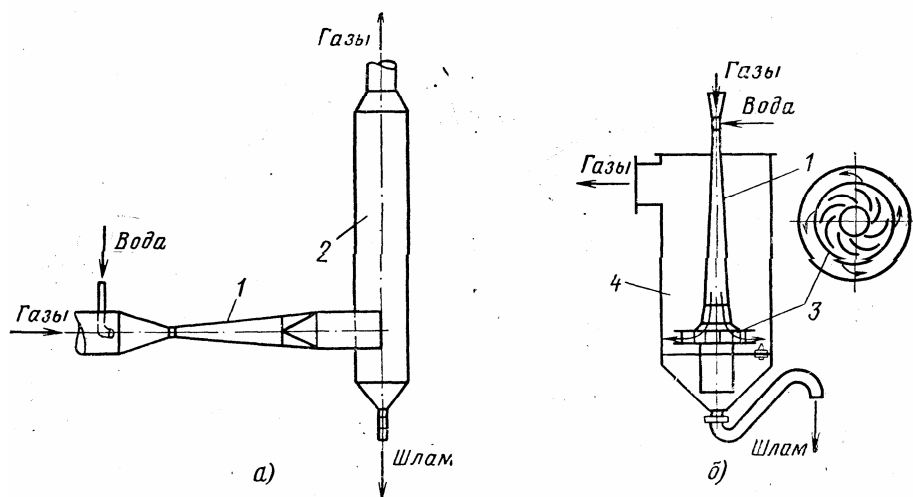


Рис.4.11 - Скруббер Вентури совместно с циклоном:

- а) с выносным каплеуловителем; б) с встроенным каплеуловителем;
 1) труба Вентури; 2) циклон каплеуловитель; 3) розеточное устройство;
 4) каплеосадительная камера.

Иногда при больших расходах газов применяют групповые компоновки нескольких труб Вентури с небольшим круглым сечением или так называемые батарейные скрубберы Вентури. Основной их недостаток возможность зарастания форсунок солевыми отложениями.

Высокую эффективность улавливания пыли при изменении количество поступающего доменного газа при сочетании скруббера Вентури и электрофильтра.

Скрубберы Вентури нашли применение в вентиляционных системах (аспирационная система).

4.9. Адсорбционные аппараты

Адсорбция - это процесс поглощения газов, паров, жидкостей поверхностью пористых твердых тел - адсорбентов. Процесс адсорбции является выборочным и обратным, т.е. каждый поглотитель поглощает лишь определенные вещества, а поглощенное вещество может быть выделено путем десорбции.

К основным типам промышленных адсорбентов относятся активированный уголь, силикагели, алюмогели, цеолиты, иониты.

Активированный уголь гидрофобный, поэтому плохо адсорбирует полярные вещества, в том числе, воду. Угли получают из каменноугольной пыли, торфа, смолы. Форма гранул цилиндрическая, диаметр 1-6 мм. Полимерный активированный уголь и активированные волокна обеспечивают разнообразие аппаратного оформления процесса.

Таблица 4.1 - Характеристика активированного угля.

Марка угля	Размер гранул, мм	Насыпная плотность, кг/м ³	Объем пор
СКТ	1,0-3,5	380-500	0,45-0,59
АГ-2	1,0-3,5	600	0,30
АГ-3	1,5-2,7	450	0,30
АГ-5	1,0-1,5	450	0,30
САУ	1,0-5,0	450	0,36
КАУ	1,0-5,0	400	0,33
АР-3	1,0-5,5	550	0,33
АРТ	1,0-6,0	550-600	0,33
СКТ-3	1,0-3,5	420-450	0,46
5УА	1,0-5,0	350	0,26

Экспериментальные данные адсорбции бензола разными марками активированного угля приведены в табл. 4.2. На их основании можно выполнять перерасчет изотерм сорбции других веществ в аналогичных условиях.

Адсорберы периодического действия с неподвижным слоем адсорбента

Такие аппараты имеют разное конструктивное оформление. Чаще всего применяют цилиндрические адсорберы вертикального и горизонтального типа. Адсорбент располагается на решетках, газ подается сверху вниз. При необходимости адсорбент располагают на полках, газ в таком случае подается как сверху вниз, так и снизу вверх. Для увеличения фронта адсорбции используют

аппараты с кольцевым слоем адсорбента, причем кольцевое пространство, заполненное адсорбентом, ограниченный сетками и имеет форму цилиндра или конуса.

Аппараты периодического действия с неподвижным слоем поглотителя работают в двух и четырех стадийных режимах. Для обеспечения непрерывности процесса в таком случае необходимо установить не менее двух, аппаратов, которые поочередно работают в режимах поглощения и регенерации. При двухстадийном режиме один из аппаратов работает в режиме адсорбции, другой - в режиме регенерации. Процессы осушения и охлаждения протекают одновременно с процессом адсорбции. Процессы конденсации и рекуперации уловленных продуктов проводят в выносных аппаратах. При четырех стадийном режиме первой стадией является адсорбция, пара газовая смесь проходит через слой адсорбента, насыщая его улавливаемым компонентом. Вторая стадия - десорбция, подачу пара газовой смеси прекращают, подают пары - теплоноситель, нагревающий адсорбент, вследствие чего происходит десорбция поглощенных компонентов, которые вместе с паром удаляются для разделения. Третья стадия - осушение адсорбента происходит при подаче горячего воздуха. Четвертая стадия - охлаждение адсорбента при подаче холодного воздуха.

Аппараты с неподвижным слоем имеют ряд недостатков: периодичность процесса, большое гидравлическое сопротивление, необходимость применения нескольких аппаратов, низкое использование, адсорбционной вместительности адсорбента и полезного проема аппарата, сложность управления.

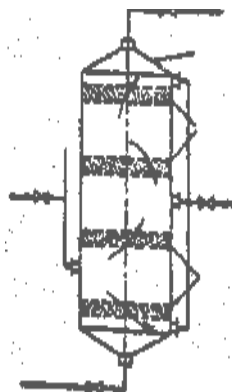


Рис. 4.12. -Многослойный адсорбер периодического действия

Адсорберы с подвижным слоем адсорбента

В этих аппаратах в определенной мере удалось устранить недостатки аппаратов с неподвижным слоем. Непрерывность процесса и более полное использование адсорбционной вместительности сорбента достигается благодаря противоположного или последовательного движению газа и адсорбента, причем в одном аппарате могут быть совмещены все основные стадии процесса. Схема работы установки с подвижным сорбентом такая. Газовая смесь поступает в колонну под распределительную тарелку, которая представляет собой трубную решетку с патрубками, направленными к низу. Через патрубки газовая смесь поднимается в адсорбционную зону, где взаимодействует с подвижным слоем адсорбента, который охлаждается в трубках холодильника. В зоне адсорбции происходит поглощение компонентов адсорбентом, а очищенный газ отводится через штуцер, расположенный под распределительной тарелкой. Из зоны адсорбции адсорбент проходит в ниже расположенную зону, которая ограничена распределительными тарелками. Паром, который поднимается из адсорбента, вытесняются компоненты загрязнений. Далее адсорбент попадает через распределительную тарелку в зону десорбции, где проходит по трубам, которые извне обогреваются парами высокотемпературных теплоносителей. Одновременно в трубах адсорбент продувается перегретым водным паром, который не конденсируясь, выжимает из адсорбента десорбированные вещества, которые выводятся вместе с водным паром. Для компенсации потерь угля вследствие стирания и для поддержания постоянного уровня загрузки, в бункер постоянно прибавляется свежий адсорбент.

В аппарате с инжекционной подачей адсорбента (рис. 4.13) обеспечиваются более высокие сравнительно с неподвижным слоем скорости газа. Он состоит из нескольких контактных ступеней, каждая из которых включает тарелку в виде срезанного конуса закрученного вершиной вниз, контактного патрубка, в верхней части которого установлено сепарационное устройство, и трубки для перетекания адсорбента с полки на полку. Между нижним торцом контактного патрубка и конусом тарелки предусмотрено отверстие (кольцевая щель). Благодаря этому, диаметр отверстия в центре тарелки меньше диаметра контактного патрубка, при

высоких скоростях газа в кольцевой щели образовывается разрежение, которое оказывает содействие выходу адсорбента из тарелки в пространство контактного патрубка. Адсорбент поступает на верхнюю тарелку по трубе и движется по конической поверхности тарелки к ее центру. Через кольцевую щель адсорбент попадает в нижнюю инжекционную часть контактного патрубка, где подымается газовым потоком и со скоростью 20 м/с движется снизу вверх. Из зоны контактного патрубка адсорбент попадает в сепарационное устройство для центробежного разделения фаз, вследствие чего снова оказывается на тарелке. По мере накопления адсорбента на тарелке через передающие трубки он выходит на следующую ступень тарелок, где процесс повторяется.

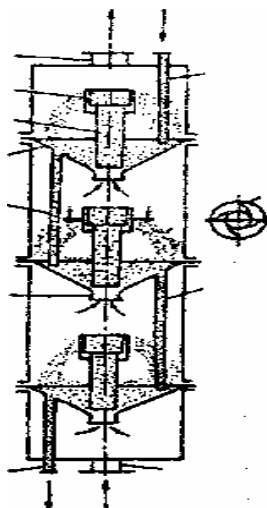


Рис. 4.13 - Адсорбер с инжекционной подачей адсорбента

Горизонтальный адсорбер с подвижным адсорбентом состоит из корпуса, вдоль которого движется транспортер со слоем адсорбента. Газ на очищение подается снизу, проходит через распределительную решетку и адсорбент выбрасывается в атмосферу. Свежий адсорбент постоянно подается через питательный бункер на транспортер. Недостатком таких аппаратов является проблема уплотнения узла входа и выхода транспортера. Для снижения уноса пыли аппарат имеет ленточный фильтр.

Адсорберы с кипящим слоем

Интенсифицировать процесс адсорбции можно путем изменения гидродинамических процессов в аппарате. Кипящий слой адсорбента образовывается при условии уменьшения размеров частиц адсорбента сравнительно с неподвижным слоем, который оказывает влияние на увеличение поверхности контакта фаз и уменьшение сопротивления твердой фазы. В кипящем слое допускаются высокие скорости газового потока. Все это свидетельствует о том, что процессы массообмена в таких условиях протекают наиболее интенсивно. Скорость газового потока влияет на стабильность и однородность кипящего слоя, степень перемешивания твердых частиц, стирание их и унос пыли. Уменьшение размеров частиц повышает однородность разряженного слоя, однако уменьшение размеров ниже определенной границы (40...70 мкм) приводит к росту сил взаимодействия между частицами, а это противодействует расширению кипящего слоя, способствует агломерации частиц.

По форме аппараты с кипящим слоем бывают цилиндрическими, коническими, конически-цилиндрическими и призматическими. Наилучшие гидродинамические условия обеспечиваются в конических аппаратах с малыми (8...15 °) углами раскрытия конуса, когда профиль скоростей в разных поперечных разрезах аппарата погашается симметрично. При увеличении угла симметрия нарушается, вследствие чего поток отрывается от стенок. В конических аппаратах обеспечивается равномерное разрежение при использовании неоднородных по гранулометрическому составу пылей, благодаря этому более тяжелые частицы, поступающие в нижнюю часть конуса, захватываются потоком с более высокой скоростью, а мелкие частицы оказываются сверху, где скорости газа ниже. В промышленности, наиболее распространенными являются конически-цилиндрические аппараты.

Увеличение высоты слоя до определенных границ (до 400..500 мм) оказывает влияние на равномерное разрежение. При высоте слоя меньше 300мм наблюдаются проскоки газовых потоков, образование застойных зон.

Практически высота кипящего слоя приблизительно равна диаметру аппарата. От диаметра зависит производительность аппарата, поэтому при очищении больших объемов газа необходимы большие адсорберы. Однако при большом диаметре тяжело обеспечить равномерное распределение газового потока по поперечному сечению. Градиент концентраций в радиальном направлении при диаметрах 12м и более будет следствием не только образования газовых пузырьков и изменения состава газовой и твердой фаз, а и недостаточного радиального перемешивания. Практически отношение диаметра к высоте принимается 1:2, при увеличении высоты слоя, возрастает его сопротивление и затраты на электроэнергию. Подача материала в кипящий слой осуществляется сверху или снизу. При верхней подаче для равномерного распределения материала по поверхности слоя необходимы механические или пневматические распределительные устройства.

Нижняя подача адсорбента осуществляется пневмотранспортом, для чего используется часть газового потока, часть которого подается под распределительную решетку. Для равномерного распределения газового потока применяются решетки для продувания разных конструкций.

Если процесс адсорбции сопровождается выделением или поглощением тепла, тогда в аппарате устанавливают теплообменные устройства в виде пучков труб или змеевиков.

Однокамерный адсорбер с кипящим слоем состоит из цилиндра с конусным днищем, распределительной решетки, циклонного устройства для вывода очищенного газа, патрубков для введения и вывода адсорбента. Недостатком однокамерных аппаратов является неодинаковое время пребывания отдельных частиц адсорбента в кипящем слое.

Этот недостаток можно устранить в многокамерных аппаратах. Цилиндрический аппарат разделен по высоте на ступени перфорированными тарелками с переливными трубками. Газ подводится под нижнюю решетку и подводит последовательно несколько слоев адсорбента. Адсорбент подается по трубке на верхнюю тарелку и двигается сверху вниз переливными трубами.

Высота кипящего слоя на каждой тарелке поддерживается на уровне высоты переливных устройств и соответственно скорости подачи адсорбента. Отработанный адсорбент отправляется на регенерацию. На каждой ступени взаимодействия газа с сорбентом происходит в режиме приближенном к идеальному перемешиванию, а аппарат работает в режиме вытеснения, в результате достигается равномерное насыщение адсорбента и более высокая степень очищения газа.

Для адсорбции газов используются адсорберы с виброкипящим слоем, который отличается расположением лотка (горизонтальные, наклонные, спиральные), количеством рабочих органов (однополочные, многополочные), способом подачи газа (с фильтрацией или без нее), способом движения адсорбента (за или против уклона лотка), способом контакта фаз (с последовательным, противоположным, перекрестным течением).

Адсорбер с виброкипящим слоем и наклонным расположением лотка состоит из массивной сварной рамы, заполненной бетоном для увеличения массы, вентилятора с эластичной вставкой, уклонного закрытого лотка прямоугольного сечения. По перфорированной решетке снизу вверх движется виброкипящий слой адсорбента. Вибрация лотка обеспечивается кривошипно-шатунным механизмом с вариаторами, которые изменяют частоту колебаний. Газ подается на очистку вентилятором, который затем фильтруется через виброкипящий слой и выходит из аппарата. Высота виброкипящего слоя 100...200 мм. Возможное установление лотков один над другим в одном вертикальном корпусе с индивидуальной или общей передачей вибраций. Подача газа может осуществляться на каждый лоток отдельно (параллельно) или под нижний лоток (последовательно). Оригинальной является конструкция вертикального адсорбера круглого сечения со спиральным вибрирующим лотком, закрепленным на вертикальном стрелке. Газ подается на очищение снизу и движется вверх. Свежий адсорбент загружается сверху, отработанный выводится снизу.

Лотки с виброкипящим слоем работают по такой схеме. В открытом лотке с гладким днищем без фильтрования очищение газа происходит при прохождении газа в свободном объеме всего аппарата над слоем адсорбента. В закрытом лотке с

гладким днищем без фильтрации очищение газа происходит в проеме лотка над виброкипящим слоем при движении газа вдоль лотка. В открытом лотке с перфорированной решеткой очищение газа происходит при фильтровании через виброкипящий слой, газ двигается в пространстве под решеткой, а потом по всему объему аппарата. В закрытом лотке с перфорированной решеткой очищение газа осуществляется в виброкипящем слое, газ двигается в пространстве под решеткой, а после прохождения слоя - над решеткой, вдоль лотка. Во всех конструкциях может быть организована последовательность встречного или перекрестного движения потоков газа и твердой фазы, причем адсорбент может двигаться вниз или вверх.

Контрольные вопросы

1. На какие группы разделяют по способу действия мокрые аппараты?
2. Как работают полые газопромыватели?
3. Как работают насадочные газопромыватели?
4. Какой принцип работы мокрых газоочистительных аппаратов ударно-инерционного действия?
5. Как разделяются по конструктивному признаку мокрые газоочистительные аппараты ударно-инерционного действия?
6. Какой принцип работы динамических аппаратов?
7. Что такое дезинтегратор?
8. Принцип действия скруббера Вентури?
9. Что такое адсорбция?
10. Что такое абсорбция?
11. Какие виды адсорбционных аппаратов вы знаете?

Пример тестового контроля

Контрольный тест

Необходимо отметить правильный ответ в предлагаемых вариантах.

1. Скопление пыли – это частицы, которые выпали из воздуха и их называют:

1. Аэрозолями.
2. Дымом.
3. Туманом.
4. Эрогелями.

2. Дисперсный анализ бывает следующих типов:

1. Гигроскопичный.
2. Динамический.
3. Ультразвуковой.
4. Индивидуальный.

3. Пылеосадочные камеры разделяют по конструктивному исполнению:

1. Многополочная камера.
2. Камера с жалюзийными решетками.
3. Камера с перегородками.
4. Камера со встроенным дымососом.

4. Простейший центробежный пылеуловитель состоит из:

1. Вентилятора.
2. Рабочего колеса.
3. Кожуха (пылеприемника).
4. Завихрителя.

5. Процесс очистки газов от твердых и жидких частиц с помощью пористых сред называют:

1. Адсорбцией.
2. Десорбцией.
3. Фильтрацией.
4. Коагуляцией.

6. Условно принято фильтры разделять на следующие классы:

1. Фильтры для очистки дымов.
2. Фильтры тонкой очистки.
3. Промышленные фильтры.
4. Фильтры для очистки особо вредных веществ.

7. Основной недостаток мокрых фильтров туманоуловителей:

1. Большое сопротивление.
2. Большие скорости при работе фильтра.
3. Заращение отложениями.
4. Шум при работе фильтра.

8. Эффективность очистки третьего класса воздушных фильтров составляет:

1. 60 %.
2. 85 %.
3. 99 %.
4. 50 %.

9. По способу действия мокрые аппараты разделяют на следующие группы:

1. Полые газопромыватели.
2. Скоростные газопромыватели.
3. Фильтрационного действия аппараты.
4. Обволакивающие аппараты.

10. Наиболее эффективный аппарат из аппаратов мокрого действия:

1. Аппарат ударно-инерционного действия.
2. Аппараты псевдосжиженным слоем.
3. Скрубберы Вентури.
4. Ротоклон.

11. Пыль образуется:

1. При горении топлива.
2. При конденсации паров.
3. При кипении.
4. При завихрении.

12. К аппаратам сухой очистки относят:

1. Прямоточные циклоны.
2. Насадочные аппараты.
3. Пылеосадочные камеры.
4. Пенные аппараты.

13. Устройство для грубой очистки воздуха от пыли называют:

1. Золоуловители.
2. Многополочная камера.
3. Циклоны.
4. Пылеосадочная камера с перегородками.

14. Пылеулавливающий аппарат, составленный из большого количества параллельно установленных циклонных элементов, объединенных в одном корпусе и имеющий общий подвод и отвод газов, а также сборный бункер называют:

1. Циклон.
2. Скруббер Вентури.
3. Пылеосадочная камера.
4. Батарейный циклон.

15. Условно современные фильтры разделяют:

1. Рабочие фильтры.
2. Фильтры тонкой очистки.
3. Фильтры для очистки атмосферного воздуха.
4. Фильтры с повышенной фильтрационной способностью.

16. Фильтры, представляющие собой слои различной толщины, в которых более или менее однородно распределены волокна соответствующего материала называют:

1. Мокрые фильтры.
2. Волокнистые фильтры.
3. Низкоскоростные фильтры.
4. Зернистые насыпные фильтры.

17. Процесс пыле- и золоулавливания, который обычно сопровождается процессами адсорбции и охлаждения газов относится к аппаратам:

1. К аппаратам сухой очистки газов.
2. К аппаратам инерционного типа.
3. К аппаратам мокрой очистки газов.
4. К аппаратам туманоуловителям.

18. Максимально эффективными аппаратами мокрой очистки газов являются:

1. Динамические газопромыватели.
2. Скрубберы Вентури.
3. Ротоклоны.
4. Полые газопромыватели.

19. Аппараты, в которых очищаемые газы приводятся в соприкосновения с жидкостью, раскручиваемой с помощью вращающегося тела, называют:

1. Динамические газопромыватели.
2. Барботажные аппараты.
3. Насадочные газопромыватели.
4. Полые газопромыватели.

Список литературы

1. Штокман Е.А. Очистка воздуха. Учебн. пособие. – М, изд-во АСВ,1998. - 320 с.
2. ГОСТ 4.125-84. Оборудование газоочистительное и пылеулавливающие. Номенклатура основных показателей.
3. Кузнецов И.Е., Шмат С.И., Кузнецов С.И. Оборудование для санитарной очистки газов. Справочник. Киев, „Техника”.- 1989. -304 с.
4. Пирумов А.И. Обеспыление воздуха. -М ,1981. – 296 с.
5. Биргер М.И., Вальдберг А.Ю., Мягков Б.И. и др. Справочник по пыле- и золоулавливанию. М, «Энергоатомиздат», 1983. - 312 с.
6. Зінич П.Л. Вентиляція громадських будівель. Навчальний посібник. – К: КНУБА, 2002. – 256 с.
7. Руководство по проектированию очистки воздуха от пыли в системах приточной вентиляции и кондиционирования / ЦНИИпромзданий. – Изд. 2-е. – М.: Стройиздат, 1984. -79 с.
8. Лукин В.Д., Курочки на М.И. Очистка вентиляционных выбросов в химической промышленности, 1980. - 232 с.
10. Дроздов В.Ф. Отопление и вентиляция: Учеб. пособие для строит. вузов и фак. по спец. «Теплогазоснабжение и вентиляция». В 2-х ч.. Ч. 2. Вентиляция. – М.: Высш. шк., 1984.- 263 с.
11. Ужов В.Н., Вальдберг А.Ю. Подготовка промышленных газов к очистке. – М.,1975. - 216 с.

12. Справочник по пыле- и золоулавливанию. Под ред. А.А. Русанова, – М., «Энергия», 1975. – 296 с.
13. Экотехника. Защита атмосферного воздуха от выбросов пыли, аэрозолей и туманов / Под ред. Чекалова Л. В. Ярославль: Русь, 2004.
14. Мазус М. Г., Мальгин А. Д., Моргулис М. А. Фильтры для улавливания промышленных пылей. М.: Машиностроение, 1985. - 120 с.
15. Экология и промышленность России. Журнал № 11, 2002. – 48 с.
16. Техника защиты окружающей среды / Радионов А.И., Крушин В.П., Торочешников И.С. Учебник для вузов. – М. Химия, 1989. – 512 с.
17. Алиев Г.М. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов. Справочное издание. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.

Навчальне видання

Гранкіна Вікторія Вікторівна

Конспект лекцій

з дисципліни

«ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫКИДОВ»

(для студентів 2-5 курсів всіх форм навчання за напрямом підготовки 0921 (6.060101) «Будівництво» та слухачів другої вищої освіти спеціальності 7.092108 (7.06010107) «Теплогазопостачання та вентиляція»)

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. *Л. В. Гапонова*

Редактор *М. З. Аляб'єв*

План 2007, поз. 57 Н

Підп. до друку 03.10.2007 р.	Формат 60x84 1/16
Друк на ризографі.	Ум. друк. арк. 4,2
Зам. №	Тираж 100 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001